

公路技术资料



公路柔性路面 疲劳问题

人民交通出版社

公 路 技 术 资 料

(11)

公 路 柔 性 路 面 疲 劳 问 题

湖南大学土木系 译 | 館

人 民 交 通 出 版 社

1 9 7 9 • 北 京

内 容 提 要

近年来,国外公路柔性路面采用疲劳理论设计的越来越多。我们曾在《公路技术资料》第五辑中专门介绍了路面疲劳的性质和各种试验方法。本辑着重介绍柔性路面疲劳破裂的分析,按疲劳设计的计算体系以及诸模图解法、象限图解法和矩阵数解法等,对广大公路工程技术人员、科研工作者和有关专业师生有参考和研究价值。

公路技术资料

(11)

公路柔性路面疲劳问题

湖南大学土木系 译

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 9.625 字数: 199千

1980年6月 第1版

1980年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—5,000册 定价: 0.77元

目 录

关于地沥青混凝土混合料疲劳性的现有情报综述.....	1
沥青混凝土的破裂特性.....	30
路面材料层的破裂.....	75
沥青路面中的临界拉应变.....	96
集料几何特征对沥青摊铺混合料疲劳效应的影响.....	115
设计沥青矿料铺砌层的基本简化法.....	133
结构设计的考虑.....	148
按疲劳控制的柔性路面厚度的确定.....	177
设计沥青混凝土路面时考虑疲劳问题.....	203
道路路面厚度设计考虑疲劳作用的实践方法.....	223
沥青稳定路面层的诺模图设计法.....	248
疲劳性质的实地观察和分析预测.....	276

关于地沥青混凝土混合料 疲劳性的现有情报综述

J.A.Epps, C.L.Monithmith

一、内 容 简 介

为了能将地沥青混凝土疲劳损坏的考虑纳入路面设计方法内, 必须有确定地沥青混凝土混合料疲劳性能的明确情报。本文所介绍的数据不仅是以有关文献而且是以我们的研究为根据的。这些文献举例说明几种混合料变数对疲劳反应的影响并包括混合料劲度、空隙率、集料级配、集料种类、沥青含量及地沥青种类的影响的指标。

有关文献指出了在典型建筑工程中可以期望的空隙率、集料级配和地沥青含量的变化。这种情报连同以前提出的疲劳数据使工程师能评定这些混合料变数在预测路面性能上的相对重要性。地沥青含量和试验温度显得比集料级配、地沥青硬度和空隙率的变化更有决定意义。

路面设计要求工程师们有用重要参数分析路面结构的能力。这种分析还必须与观察路面性能主要特征及适当量测设计参数值相结合。

制订设计方法的一种途径是发展几个体系, 每一体系的目标在于将特殊形式的损坏减至最小。正如 F.N.Finn 根据全美国路面性能的广泛评价所指出的, 使路面服务能力降低的最重要的损坏机理似乎是:

1. 因重复荷载(疲劳)引起的处治材料的破裂;

2. 与交通相联系的扭曲;

3. 由与交通无关的因素引起的破裂, 例如由低温地区的温度变化所引起的破裂。

图 1-1 示出考虑疲劳损坏模式的方框图, 它是由Kasion-chuk 等在设计过程中为了将这种形式的损坏减至最小而创制的体系中的一种改进图式。

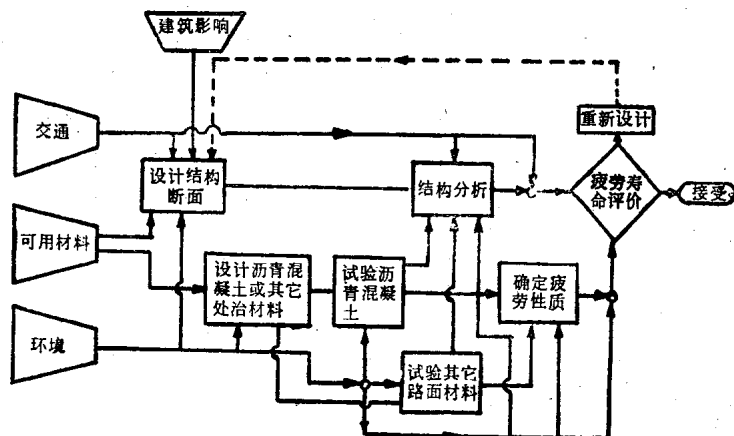


图 1-1 疲劳体系方块图解

本文的目的在于简略地综述关于地沥青路面混合料疲劳特性的现有报道并以体系形式表示出来, 希望按照图 1-1 中用图解方式说明的程序进行混合料和路面设计时将有所帮助。

近年来, 全世界对地沥青混凝土混合料进行了大量的实验室疲劳研究。美国和欧洲的有关大学和科研单位在这方面做了不少工作。对地沥青材料疲劳性的其它研究, 一些研究人员也写过不少报告。对这些研究的许多结果的述评都包括在参考文献〔1〕、〔2〕、〔3〕、〔4〕和〔5〕中。

为了方便起见, 可以将影响疲劳反应的变数分为三类, 即荷载、环境和混合料。表 1-1 和表 1-2 按照控制应力和控制

影响疲劳性能的实验室试验变数

(用控制应力试验确定的)

表1-1

一、荷 载 变 数	二、混 合 料 变 数
荷载历史 简单荷载 复合荷载 加载速度 施加应力型式 方块形 正弦波形 半正矢形 试验机型 梁式(挠曲式) 旋转悬臂式 隔膜式 悬臂式	混合料 劲度 空隙率 地沥青含量 地沥青 种类 硬度 集料 种类 级配
	三、环 境 变 数
	温度 湿度 服务寿命中材料性质改变

应变加载模式分别列出与每一变数有关的因素的比较详细的清单,在以后各节中将包括对这些结果的概述。

二、荷 载 变 数

在野外,疲劳破坏是由发裂来证实的,如同Hveem所描述的那样[6]。另一方面,在实验室中疲劳破坏通常可能是按照试件继续作为一个承受重复荷载的实体的能力而任意规定的点。可以采用的两种量度是:服务寿命,以 N_s 表示;破裂寿命,以 N_f 表示。

服务寿命为使试件能力降低到表现某种预定状态所必须的加载累积次数。破裂寿命为使试件完全破裂所必须的加载累积次数。应当注意,服务寿命与破裂寿命只有在破坏被定

影响疲劳性能的实验室试验变数

(用控制应变试验确定的)

表1-2

一、荷 载 变 数	二、混 合 料 变 数
荷载历史 简单荷载 复合荷载 加载速度 施加应力形式 方块形 正弦波形 半正弦波形 试验机型 挠曲梁式 旋转悬臂式 隔膜式 悬臂式 扭转式	混合料 劲度 空隙率 沥青含量 地沥青 种类 硬度 集料 种类 级配
	三、环 境 变 数
	温度 湿度 服务寿命中材料性质改变

义为在连续重复加载下完全裂开的条件下才是同一的。

荷载历史

试件的服务寿命或破裂寿命可以按不同的荷载条件来测定。如果在服务寿命的全过程中荷载条件保持不变,即称为试件承受简单荷载。如果被研究的试件在按某种预定形式重复施加应力的过程中荷载条件改变,则认为是承受复合荷载。后面的加载方式可以不仅包括应力的改变,而且也包括环境例如温度的改变。

当复合荷载这个定义应用于实验室试件时,它是能够容易看出的,一段路面承受的也是这种类型的荷载,因为轮载的大小及其横向分布都是变化的,也因为温度改变会引起地沥青混凝土劲度改变,因而在相同荷载下的应力发生改变。

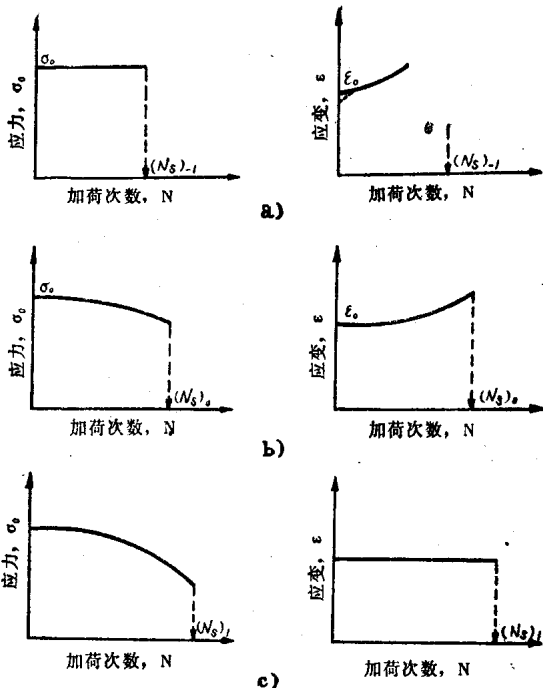


图1-2 地沥青路面材料在各种荷载模式下的疲劳性能图解

a) 控制应力, 模式因素 = -1; b) 中间模式, 模式因素 = 0; c) 控制应变, 模式因素 = 1

加载模式这个名词是被用来说明在疲劳加载过程中令应力和应变如何变化的。如果在服务寿命的整个过程中名义上的应力水平或荷载保持不变, 则试验属于控制应力或控制加载模式。如果名义上的应变水平保持不变, 则试验属于控制应变或控制弯沉模式。

对简单荷载的两种加载模式都在图 1-2 中用图解予以说明。在控制应力的荷载下, 应变 ε_0 将逐渐增大, 直至达到由 N_f 定义的破坏为止。

在控制应变试验中，应力随着重复加荷次数的加多而减小，因为试件逐渐损伤而只需要较小的荷载便能产生相同的变形。

用控制应力模式在不同的应力水平下进行简单荷载试验并确定其相应的服务或破裂寿命，即得出平常的疲劳图式。这种关系用图解方式说明于图1-3a中。在此图中，应力水平与加荷次数之间的关系在双对数格纸上表现为一根直线。根据得到的关于地沥青混凝土的报导[7]，这似乎是一种合理的描写。

同样，用控制应变的加载模式进行简单荷载试验并确定其相应寿命，即能得出应变与加荷次数之间的关系(图1-3b)。这种关系在双对数格纸上再一次表现为一根直线，所以这种关系也显得是对地沥青路面混合料有代表性的。

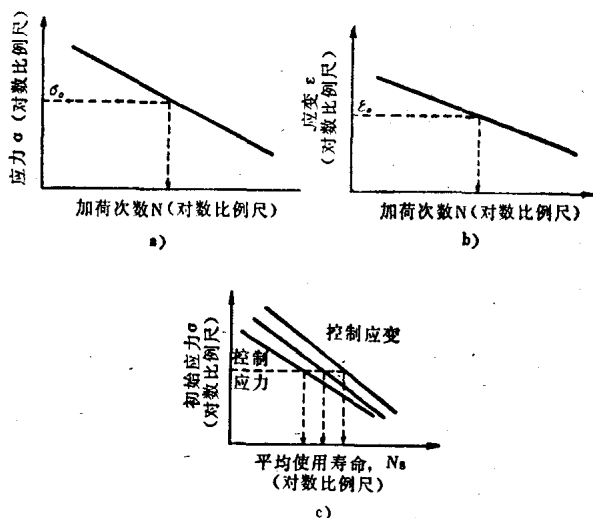


图1-3 疲劳图解

a) 应力对荷载作用的关系(控制应力); b) 应变对荷载作用的关系(控制应变); c) 初始应力对荷载作用的关系, 为控制应力和控制应变的比较

细察用两种试验方式确定的应力对服务寿命的关系也能获得两种加载模式之间的某些比较。假令图1-3a和图1-3b中所描写的关系代表同一试件的试验结果，并且应力和应变条件被选择得使能得出同一的初始值(以 σ_0 和 ϵ_0 表示)，将控制应力试验的初始应力对应服务寿命作图，就能得出与控制应变试验的比较。在图1-3c中用图解方式说明这种关系。

在本例中指出两种疲劳曲线在位置上的差别。这种差别对于地沥青混凝土试件能否获得，似乎与地沥青混凝土的劲度有关，至少是有一定关系。劲度转过来又可能影响控制应力试验中的应变对加荷次数的关系曲线的形状和在控制应变试验中的应力对加荷次数关系曲线的形状。图1-4示出按两种加载模式对包含密级配集料的混合料进行试验得出的疲劳曲线的比较。

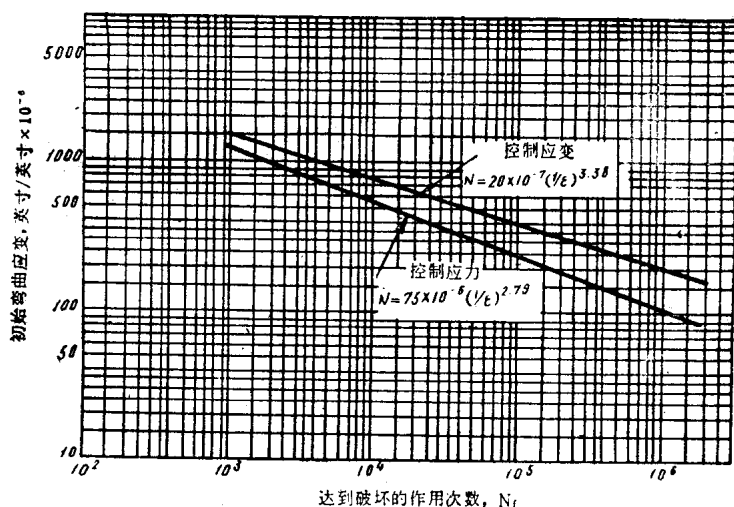


图1-4 按美国加州法(8)设计的密级配集料的混合料含量

加载速度

C.L.Monismith 等曾经报告过每分钟重复 3至30次的加载频率对试件疲劳性能没有影响。J.A.Deacon 及 Monismith 后来进行的试验指出, 每分钟重复30至100 次的加载频率就使疲劳寿命显著降低(约20%)。这种影响是用控制应力加载模式在75°F时对密级配地沥青混凝土混合料试验测定的。

I.F.Taylor 曾用旋转悬臂试验机在 80和 2500转/分钟速度范围内的试验考察了频率的作用。试验结果指出, 疲劳寿命在一定程度上决定于加载速度, 其最大变化出现在200转/分钟以下的频率时。

其它荷载变数

其它荷载变数, 包括施加应力的图式和试验机类型, 必须加以考虑, 如果疲劳数据需要解释并应用正确的话。从两种或更多类型的试验机中试验类似混合料得出的结果的比较是很有限的。由Epps和Monismith 提出的一个这类比较尽管

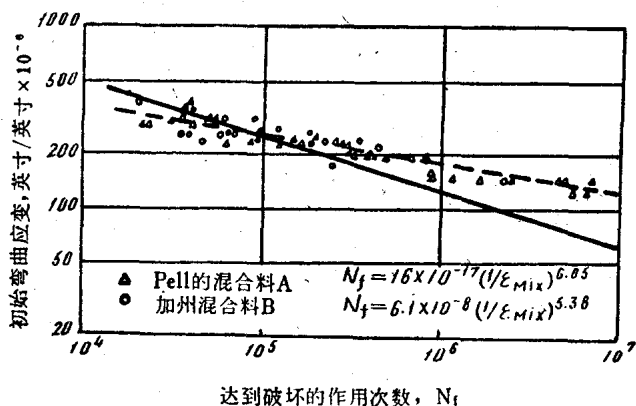


图1-5 在加州大学实验室内试验的英国标准594号级配混合料和 Pell 混合料的试验结果比较

是间接的,暗示在旋转悬臂机和挠曲机中试验的试件显示出类似的反应特性(图 1-5)。不过目前正在俄亥俄州立大学和得克萨斯 A & M 大学进行的研究将对这一空白知识有所贡献。

最常用的应力施加图式是重复方块形、正弦波形和半正矢波形。现有的可以用作比较的数据很有限。

如果希望在实验室内测定疲劳特性,重要的是必须能够决定施加应力的图式、加载速度、试验机型、荷载条件(单一的或复合的)和试验模式。为使试验比较容易进行和为了可以获得相对大量的数据作比较之用,建议采用重复方块形或半正矢波形作为施加应力的图式,并应用悬臂梁或三分点荷载的简支梁进行简单荷载试验。

控制应力和控制应变试验结果的应用

根据应用层状体系弹性理论[1]对一系列路面断面的分析,发现控制应变的加载模式接近于薄(2英寸或更小)而软的沥青混凝土断面部分。另一方面,控制应力的加载模式只接近于比较厚(6英寸以上)而硬的沥青混凝土路面部分。对于其余的厚度范围,两种模式之间的某种中间荷载方式是适宜的。Monismith 与 Deacon 最近的研究试图用引入一个叫做模式因素的参数的办法将这两种加载模式之间的差异用数量表示出来。他们的分析指出,控制应力的加载模式在实践中决难实现。但是如上所述,在比较厚而硬的地沥青混凝土层中将近似于它。虽然控制应力的情况在实践中不一定能够达到,但在实验室内这种加载模式将提供一个疲劳寿命的保守估计。

三、环境变数

包括温度、湿度和在路面寿命过程中材料性质改变在内

的环境变数都是极端重要的。在北半球路面温度可能从高达接近于 150°F 变化到低至 -40°F 的数值，因而使地沥青的劲度以及地沥青粒料混合料的劲度产生本质上的改变。包括空隙率和地沥青硬度在内的材料性质都会在路面寿命过程中发生变化。因此，根据简单的代表性的地沥青混凝土混合料试验值来考虑路面设计，这是困难的。关于空隙率和地沥青硬度的影响将在以后各节中讨论。

温度

图 1-6 举例说明在控制应力试验中温度对应力加载到破

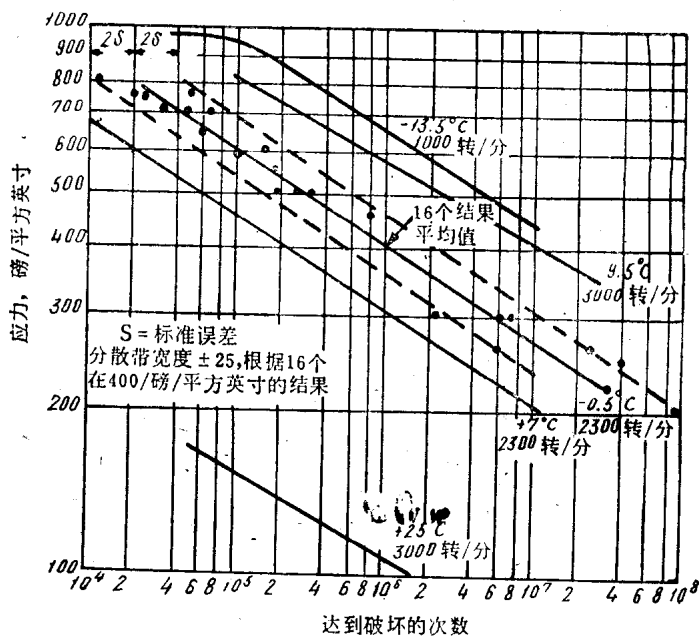


图1-6 沥青砂试件在标准弯曲应力下以不同温度和速度的疲劳结果

坏次数间的关系的影响。一般讲, 在特定应力水平下的疲劳寿命随温度的下降而延长。R.A.Jimenez 与 B.M.Galloway [9] 也曾在这方面提出一些数据, 如图 1-7 中所示。

Pell 和 Taylor 曾说明限度以内的温度的影响能用试件

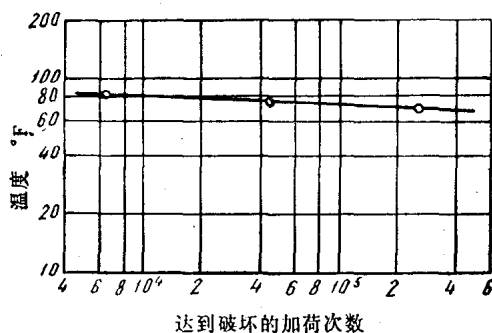
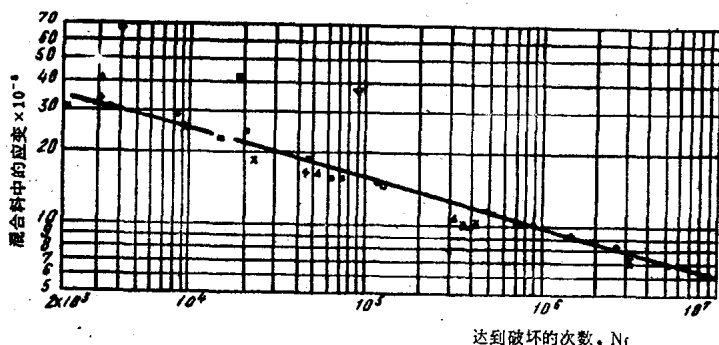


图 1-7 当量温度与达到破坏的加荷次数间的关系[9]

的劲度来解释。温度下降时地沥青混合料的劲度就增大, 因而对一规定应力来说变形(或应变)就较小, 并导致较长的寿命。Pell 和 Taylor 在温度 0° 至 30°C 范围内进行一系列试验的结果示于图 1-8。温度升高时, 应变-疲劳寿命关系曲线



试验组	F					G				
温度	+10	0	+10	+20	+30					
符号	+	o	o	△	▽					

试验组	P	
转速 转/分		变数
符号	●	

图 1-8 试验组 F、G 和 P 试件的疲劳结果(根据劲度测定值)

的斜率增大。这种改变可能归因于由温度升高所引起的混合料应力的非直线性变化。

图 1-9 说明温度对控制应变试验的影响。通常，在特定应变水平的情况下疲劳寿命将随温度的升高而延长。这可能部分是由于温度较高时裂缝扩展的速度会较慢。

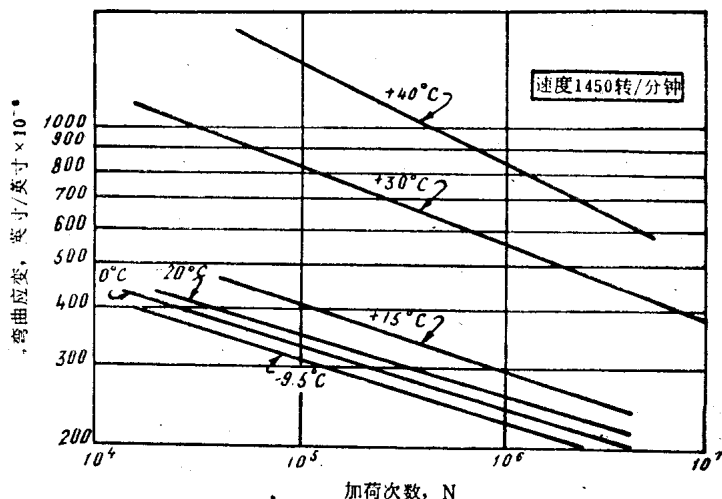


图 1-9 片沥青试件在常值弯曲应变下和各种温度时的疲劳结果

湿度

湿度对地沥青混凝土的疲劳反应尚无可用的数据。被混合料吸收的湿气足以导致劲度减小并使疲劳寿命有缩短的趋势，这是可能的。但是尚未最后证明。

一般评论

温度和湿度这两个环境参数通常不能由路面工程师有效地控制。如果希望控制疲劳反应并保证某一最低水平，则路面工程师必须在他的估价中认识环境的影响，至少试图用控制混合料特性、适当选择成分并保证正确施工的办法来达到所期望的性能水平。

四、混合料变数

在此总类中包括混合料劲度、空隙率、地沥青含量、地沥青硬度和集料特性。

混合料劲度

在本文中劲度是被用来表示应力与应变之间的关系，作为加载时间与温度的一个函数，即： $S_{(t,T)} = \frac{\sigma}{\epsilon}$

式中： $S_{(t,T)}$ ——在特定时间和温度时的混合料劲度，以磅/英寸²或公斤/厘米²计；

σ, ϵ ——分别为轴向应力和应变，并按照原由 Van der Poel [10] 建议的定义。

在短暂加载时间或低温或两者并存时，混合料劲度接近于一个常值，与弹性模量相似。在加载时间延长和温度升高的情况下，劲度就降低。在路面中常遇到的时间和温度范围内，地沥青混合料的劲度可能从约 4×10^6 磅/英寸²（低温和短暂加载时间情况下）变化到约 1×10^3 磅/英寸²（高温和长加载时间情况下）。从疲劳观点来看，劲度是一个重要的材料特性，因为在地沥青路面层中由以不同速度行驶的车辆荷载所引起的以及由于在加载过程中路面承受不同温度而发生的应力和应变都决定于混合料的劲度。

对从符合加利福尼亚州规范的密级配混合料获得的控制应力数据的评价指出，混合料劲度能显著地影响应力-疲劳寿命的关系（图1-10）[7]。但是初始应变-疲劳寿命的关系则不那样依赖于劲度（图1-11）[7]（图1-11举劲度范围从 2×10^5 到 5×10^5 磅/英寸² 为例说明这点）。可用的数据证明当混合料劲度较低时关系线的斜率较陡（图1-12）[7]。通常当混合料劲度增大时就能在控制应力加载模式中获得较长的破