

ECCS
CECM
EKS



EUROPEAN CONVENTION FOR CONSTRUCTIONAL STEELWORK
CONVENTION EUROPEENNE DE LA CONSTRUCTION METALLIQUE
EUROPÄISCHE KONVENTION FÜR STAHLBAU

欧洲钢结构协会

钢结构的疲劳设计规范

欧洲钢结构协会第六技术委员会“疲劳”编

西北工业大学
铁道部科学研究院 译

西北工业大学出版社

Recommendations For the
Fatigue Design of Steel Structures

钢结构的疲劳设计规范

ECCS-Technical Committee6-Fatigue
欧洲钢结构协会第六技术委员会“疲劳”

西北工业大学 译
铁道部科学研究院

江苏工业学院图书馆
藏书章

西北工业大学出版社

1989年10月 西安

Recommendations For
the Fatigue Design of Steel Structures
ECCS-Technical Committee 6-Fatigue
EUROPEAN CONVENTION
FOR CONSTRUCTIONAL STEELWORK
1985

*

钢结构的疲劳设计规范

欧洲钢结构协会第六技术委员会“疲劳”

西北工业大学 译
铁道部科学研究院

责任编辑 于兴旺
责任校对 杨长照

*

西北工业大学出版社出版发行
(西安市友谊西路 127 号)

陕西省新华书店经销
西北工业大学出版社印刷厂印装
ISBN 7-5612-0212-1/TG·11

*

开本 787×1092 毫米 1/16 3 印张 61 千字
1989 年 10 月第 1 版 1989 年 10 月第 1 次印刷
印数 1—1000 册 定价: 3.75 元

中 译 本 序

这本规范为承受疲劳载荷的钢结构的评估、制造、检查和维修,提供了系统的原理和方法。这些工作都认为,结构已按其他极限状态的要求进行了设计。

关于规范的工作,是1979年4月21日开始的,当时在洛桑举行了第六技术委员会“疲劳”的第一次会议。在那时,由瓦林博士(Dr. Wallin)任主席的前欧洲钢结构协会第九委员会“焊接接头”,已经准备了工作文件。

五年期间,共举行了九次委员会会议。撰写了六个草案,包括最后的文稿。在这一领域中工作的很多专家,为准备各个草案,贡献了很多的时间,作了很多努力。例如,约翰·狄布利先生(Wr. John Dibley)在洛桑工作了几周,参与了早期文本的起草。还有,约翰·费歇尔教授(Prof. John Fisher)和梯姆·加尔尼博士(Dr. Tim Gurney),通过多次正式和非正式的讨论,使委员会从他们多年的经验中受益。这些专家们的建议大大地提高了这本规范的质量。

1983年以来,伊安·史密斯博士(Dr. Ian Smith)担任第六技术委员会的秘书。他的贡献是非常值得赞扬的。此外,非常感谢格雷拉博士。(Dr. Guerrero)、布罗则蒂教授(Prof. Brozzetti)、瑞安先生(Mr. Ryan)和塞得拉色克教授(Prof. Sedlacek),他们经常给予帮助和鼓励。还要感谢更多的同事,无法在此一一提及,他们也时常提出建议。

最后的文稿受到在相关领域工作的大多数国际组织的审核。这本规范已作为“第三本欧洲规范”(Eurocode 3)钢结构的设计一书第九章“疲劳”的基本材料。

欧洲钢结构协会第六技术委员会希望,这本规范对于中国的科学家、工程师和管理人员将是有益的参考资料。

欧洲钢结构协会第六技术委员会主席,
曼福瑞德·阿·赫尔特教授(Prof. Manfred
A. Hirt), 1986年8月于瑞士洛桑

委员会和欧洲钢结构协会(ECCS)感谢译者对本规范的关注和确切的翻译。

译 者 的 话

目前,工程结构设计的总趋势,是由容许应力设计法向极限状态设计法过渡。欧洲钢结构协会第六技术委员会-疲劳(ECCS-TC6)1985年制订出版的《钢结构的疲劳设计规范》,根据可靠性理论全面地阐述了钢结构疲劳设计的原则和方法。本规范与现有的各国钢结构疲劳设计规范相比,在设计载荷谱、构造细节分类、安全性概念、制造质量、运营检查和维修、断裂力学应用以及空心截面构件的疲劳评估等许多方面,新增加和补充了很多内容。

欧洲钢结构协会第六技术委员会由欧洲许多国家长期从事疲劳研究的知名专家和学者所组成。而且本规范从着手制订到出版,历时6年,其间,还广泛地征求和吸收了欧洲以外一些国家的学者们的建议和经验。所以本规范包含了世界上许多国家长期的研究成果和经验。因此,本规范可作为各国制订钢结构疲劳设计规范的基本参考文件。现在,已出版了《钢结构的疲劳设计规范》的英文、法文、德文和日文版本。

我们根据《钢结构的疲劳设计规范》的英文版将它译成中文出版,希望它能为我国的研究、教学、设计、制造、施工和管理部门的科技人员提供有用的参考资料,尤其希望它能对我国当前正在进行的各种类型的钢结构疲劳设计规范的修订工作有所裨益。本书由铁道部科学研究院副研究员史永吉同志、西北工业大学教授郑修麟同志担任译校工作。

这里,我们要特别感谢欧洲钢结构协会第六技术委员会主席、瑞士联邦洛桑理工学院 Manfred A. Hirt 教授,在他1986年10月到中国访问时,就将当时刚出版的《钢结构的疲劳设计规范》(第一版)赠送给我们。此后,他又对本规范中文版的出版工作给予大力协助。

同时,还要感谢西北工业大学出版社的同志们,在本书出版过程中所给予的支持和帮助。

铁道部科学研究院研究员姚明初同志,对本书的中文译文作了仔细的校阅,译者深表谢意。

译者 史永吉 1989.4
郑修麟

序 言

本规范为承受疲劳载荷的钢结构的评估、制造、检查和维修，提供了系统的原理和规定。这些都是假设结构已按其他极限状态的要求进行了设计。

制订规范的工作是从 1979 年 4 月 20 日在洛桑召开的第六技术委员会“疲劳”第一次会议时开始的。那时，Wallin 博士任主席的前欧洲钢结构协会第九委员会“焊接接头”，已准备了工作文件。

五年期间，共举行了九次委员会会议，草拟了六次草案，包括最后的文本。这一领域中的许多专家，为准备各个草案文本，贡献了很多时间和努力。例如，John Dibley 先生在洛桑工作了几个星期，参与了早期文本的工作。还有，John Fisher 教授和 Tim Gurney 博士通过多次正式和非正式的讨论，给委员会提供了他们多年有益的经验。这些专家的建议大大改善了本规范的质量。

1983 年以来，Ian Smith 博士任本委员会的技术秘书。他的工作已超出了行政事务和处理收到的意见的范围。他起草了第三、第七和第八章以及附录 B3、C、D 和 E，从而扩充了本规范，使之包括关于安全、质量保障、检查和维修的准则，以及关于断裂力学和空心截面等的指南。他的贡献得到很高的评价。此外，还要感谢 Gurrera 博士、Brozzetti 教授、Ryan 先生和 Sedlack 教授的不断的帮助和支持。

第六技术委员会目前由下列成员组成：

Agerskov H.	丹 麦
Androic B.	南斯拉夫
Brozzetti J.	法 国
Firguet G.	比利时
Guerrera U.	意大利
Haaijer G.	美 国
Hirt M.A. (主席)	瑞 士
Mertens A.	卢森堡
Ryan I.	法 国
Siebke H.	联邦德国
Smith I.F.C. (技术秘书)	瑞 士
Till E.	奥地利

通讯成员：

Alpsten G.A.	瑞 典
de Back J.	荷 兰
Dibley J.E.	英 国
Dutta D.	联邦德国
Fischer D.	奥地利

Negri G.	意大利
Ollila H.	芬 兰
Stoll G.	卢森堡
Wardenier J.	荷 兰

本委员会非常感谢以下各位的贡献:

Albracht P.	美 国
Fisher J.W.	美 国
Grundy P.	澳大利亚
Gurney T.R.	英 国
Haibach E.	联邦德国
Hobbacher A.	联邦德国
Kulak G.L.	加拿大
Mang F.	联邦德国
Sedlacek G.	联邦德国
Spindel J.E.	英 国
Thimjo A.	法 国
Thrane E.	挪 威
Van Doumen A.A.	荷 兰

还要感谢更多的同事,无法在此一一提及,因为他们常常提出建议。

最后的草案受到工作在相关领域内的很多国际组织的审查。例如。1985年4月17日在慕尼黑,在由Hobbacher任主席的国际焊接学会(IIW)的JWG XIII—XV委员会会议上,原则上接受了本规范。按照来自联合工作小组(IIW-Subcie-XV-E/CIDECT/Eurocode 3/ECCS TC6)的最近信息,为批准关于空心截面的附录E,还需要特别的文件。联合工作小组主席Wardenier博士和Mang教授审查了很多实验工作,这为批准附录E奠定了技术基础。目前,关于附录B2的注释正由Guerrera博士准备。

ECCS第六技术委员会“疲劳”希望,本规范将用于草拟国家文件,并作为其他国际组织的有用的参考资料。最后,本委员会相信,这一版本将为进一步的发展提供良好的起点。

欧洲钢结构协会第六技术委员会主席

Manfred A.Hirt教授

1985年10月,洛桑

这一版本是瑞士联邦洛桑理工学院金属结构教研室(ICOM)准备的。M.Fiaux先生制备了图表,S.Kuhn夫人作了文本的打字工作。

目 录

第一章	应用范围	1
第二章	基本原理	3
第三章	安全概念	5
第四章	疲劳载荷	7
第五章	疲劳应力谱	9
第六章	疲劳强度	11
第七章	质量保障	13
第八章	运营检查和维修	14
附录 A	术语和符号	15
	A1 术语	15
	A2 符号	16
附录 B	细节分类方法的评定	18
	B1 基本疲劳强度曲线	18
	B2 细节类别	20
	B3 最低的焊缝质量水平	26
附录 C	安全系数的定义	28
附录 D	断裂力学原理	30
附录 E	空心截面构件的疲劳评估	33
	E1 细节分类方法的疲劳评估	33
	E2 热点应力法	37
参考文献		39

第一章 应用范围

应用领域

- 1.01 本规范介绍结构和结构构件的疲劳极限状态评估的通用方法。疲劳定义为由重复应力引起裂纹缓慢扩展而造成结构部件的损伤。
- 1.02 疲劳评估程序假定，结构已按适用于该类结构的有关设计规范或标准中的其他极限状态的要求进行了设计。本规范与这些要求一并使用，而并不试图取代其他极限状态条件。
- 1.03 本规范涉及的是厂制钢结构，如铁路桥梁、公路桥梁、建筑物（吊车导轨梁、机械支承结构）、吊车（不包括机械和机械部件）以及其他类似的结构。
- 1.04 本规范经适当的修改，可用来对现在使用的结构进行疲劳评估。
- 1.05 附录 A 包含了本规范中所采用的定义和符号的目录。

限定应用范围

- 1.06 疲劳强度曲线适用于屈服强度低于 700 N/mm^2 的各种等级的结构钢。螺栓的拉伸屈服强度达到 1000 N/mm^2 也是适用的。这相当于 ISO 898 标准的第 10.9 级（ASTM A490）螺栓。
- 1.07 本疲劳评估程序不适用于低周-高应变疲劳。就本规范的应用范围而言，若任一公称应力范围超过屈服强度 σ_s 的 1.5 倍，则不能采用本疲劳评估程序。
公称应力范围是两个公称应力极值的代数差。该公称应力极值可通过常规的弹性分析和施加于表 B2.1~B2.5 中所示的横截面上的力和弯矩加以确定。该定义不包括靠近开口、过人孔等细节，或表 B2.1~B2.5 中没有明确表示的其他应力集中处。再则，节点刚度和连接偏心应予以考虑（见第 5.04 和 5.05 条）。
- 1.08 本规范未考虑下列因素的影响：
 - a) 没有考虑由于腐蚀而引起的疲劳强度的降低。在腐蚀环境中，疲劳强度会显著地降低；需要有相应于这些环境的疲劳强度的数据。然而，在轻微的腐蚀环境中，诸如在通常的大气条件下，疲劳强度曲线仍可适用于具有适当防护的结构。注意：应保护桥梁免受防冻盐的侵蚀。
 - b) 本规范对于服役温度高于 150°C 的结构的疲劳评估尚未经过论证。

无需疲劳评估的场合

- 1.09 房屋结构通常不需要进行疲劳评估。而房屋结构的某些部件，如吊车和机器的支承结构，可能要进行疲劳评估。
- 1.10 若所有的公称应力范围之值低于 26 N/mm^2 ，则不需要疲劳评估。
- 1.11 当所有的公称应力范围之值低于给定细节的恒幅疲劳极限时，则不需要疲劳评估。

1.12 在结构使用寿命期限内, 当预计的应力循环次数少于

$$\left(\frac{36}{\gamma_s \gamma_m \Delta \sigma_e} \right)^3 \times 2 \times 10^6 \text{ 时,}$$

则不需要疲劳评估。

当 γ_s 和 γ_m 等于 1 时, 该关系式确定由图 B1.1 中最低线给出的循环次数。等效恒幅应力范围 $\Delta \sigma_e$, 在 2.08 和 2.09 条中进行了定义。在 3.06 条中介绍了安全系数 γ_s 和 γ_m 。

第二章 基本原理

影响疲劳强度的因素

2.01 结构构件可以承受的应力循环次数取决于下列因素:

- 公称应力范围的大小,
- 特定结构构件的细节类型。

疲劳评估中使用的疲劳强度曲线,由细节类型确定。该细节类型考虑了结构细节的局部应力集中、容许的最大不连续性的尺寸和形状(见 7.04 条)、应力方向、冶金效应、残余应力、疲劳裂纹形状;在某些情况下还考虑了焊接工艺和焊后的改善处理。

2.02 对于任一给定的细节类型,不同强度等级钢材的疲劳强度间的差别很小,可略去不计。

2.03 平均应力不同而公称应力范围值相同的应力循环,它所引起的疲劳损伤的差异可略去不计。

2.04 裂纹一般在焊缝或靠近焊缝处、横截面突变处或节点偏心处形成。避免发生疲劳问题的最有效的途径,是仔细地进行连接的细部设计和制造。

2.05 当疲劳极限状态可能影响结构设计时,由设计师决定全部细节是特别重要的。在未经设计师核准的情况下,制造和架设中不得以任何方式改动这些细节。同样地,在未通告设计师的情况下,不得在结构的任何部件上开切口,不得添加附连件。良好的细节设计,以及在制造、运输和架设期间细心的操作,将大大减少裂纹形成和扩展的危险(见第七章)。

2.06 在结构的最初实物承载能力试验时,可能引起疲劳强度的变化,但在本规范中未给裕量。

疲劳评估程序

2.07 疲劳评估应当证实,在设计寿命终了时的疲劳载荷下,结构要达到所要求的存活概率。设计寿命是指结构要进行运转而无需修理的周期。对每一个潜在的疲劳裂纹部位,都应进行评估。将设计应力谱效应(见第五章)与附录 B 所示的不同细节类型的疲劳强度曲线进行比较,要求在结构的设计寿命期内不会发生失效。

2.08 采用折减系数 α 和静力设计活载荷 (Static design live load) 求得的应力范围,可用于进行疲劳评估:

$$\Delta\sigma_{\text{eq}} = \alpha \Delta\sigma_{\text{st}}$$

式中 $\Delta\sigma_{\text{st}}$ 是静力活载应力极值之差。

$\Delta\sigma_{\text{eq}}$ 是等效恒幅应力范围。它是应力谱造成的累积疲劳损伤的估算值。

α 是折减系数,同时应注明确定疲劳强度 $\Delta\sigma_{\text{R}}$ 时的总循环次数 N 。

注意:在第四和第五章建议,在评估时应包括冲击效应和二级效应。

2.09 当折减系数没有给出时,可采用 Miner 的累加法(根据 Palmgren-Miner 法则^{[3][4]}进

行累积损伤计算), 计算等效恒幅应力范围值 $\Delta\sigma_e$ 如下:

$$\Delta\sigma_e = \left[\sum_{i=1}^k \frac{\Delta\sigma_i^m n_i}{N} \right]^{1/m}$$

式中 k 是应力谱中各应力范围值的数目。

i 是表示离散应力范围的次序的整数值。

n_i 是发生在应力范围值 $\Delta\sigma_i$ 下的应力循环数, 由应力循环算法确定 (见 5.07 条)。

N 是设计寿命期内所有公称应力范围下的循环总数, $N = \sum n_i$ 。 N 可能大于加载事件次数若干倍 (见 4.05 条), 并可能随着结构构件的尺寸和检算部位、以及结构冗余度而变化。

$\Delta\sigma_i$ 是第 i 级公称应力范围值。

m 是 B1.01 条中的指数, 对应于附录 B 中疲劳强度曲线的斜率。若疲劳评估中采用的疲劳强度曲线, 其常数 m 有两个值, 则较低的 m 值将给出保守的等效恒幅应力范围的估算值。

- 2.10 对应于图 B1.1 所示的两个斜率分别计算累加值, 可以更精确地求得等效恒幅应力范围 $\Delta\sigma_e$ 的估算值。
- 2.11 可用类似于计算 $\Delta\sigma_e$ 的方法, 计算等效恒幅剪应力范围 $\Delta\tau_e$ 之值。
- 2.12 疲劳强度 $\Delta\sigma_R$ 可按附录 B 选用适当的 N 值加以确定。
- 2.13 第三章中描述的安全系数 γ_m 和 γ_s , 在疲劳评估中是需要采用的系数。

疲劳强度的改善

- 2.14 疲劳强度可能高于本文件所指示的水平。
- 2.15 本规范可能低估了承受压缩或较小的拉伸平均应力和恒幅应力范围的结构构件的疲劳强度。疲劳强度的低估仅在下述情况下才能发生, 即不存在间接引入的、会提高平均应力的静应力。然而, 温度波动、支座沉陷、不适当的配合、无意间的紧固等等, 都会造成间接引入的拉应力。
- 2.16 如果改善了某些细节, 疲劳裂纹可能在不同的和未改善的部位形成。例如, 改善可将临界裂纹位置由焊趾移向焊根。一般而言, 需要通过试验证明疲劳强度确实高于本规范建议的值。
- 2.17 可用机械加工或打磨焊趾, 或用 TIG 或激光重熔焊趾等方法, 改善疲劳强度。要特别注意, 确保焊缝上 (尤其是焊趾处) 的初始不连续性尺寸有所降低, 确保由改善方法引入的新的不连续性, 不致抵消可能的改善效果。根据类似的理由, 经改善的区域应进行适当的保护, 以防腐蚀作用。
- 2.18 焊后热处理 (消除应力退火) 降低了潜在裂纹部位周围的残余拉应力, 可以改善疲劳强度。然而, 这种处理常常不能全部消除残余拉应力。此外, 在 2.15 条中讨论的不要间接引入静应力的要求, 也适用于这一情况。
- 2.19 用锤击、局部加热或初始的实物承载试验等方法, 在潜在的裂纹部位引入残余压力, 可以改善某些连接的疲劳强度。质量保障程序应确保改善方法的可靠性。

第三章 安全概念

3.01 本安全概念的目标,是给出在设计寿命终了时的存活概率。

3.02 疲劳评估的安全水平(见 3.03 条),应与其他极限状态下的安全水平一致。

3.03 安全概念中应包括下列应考虑的事项:

a) 安全水平:就本规范的目的而言,安全水平就是考虑到疲劳载荷和疲劳强度的期望值和可能的变异性而计算得到的存活概率;但不考虑检查和维修的影响。

b) 失效的后果:总体失效和局部失效可分别予以考虑。当一个构件的疲劳失效导致结构的全部或一部分发生灾难性的崩溃,则造成总体失效。其最小安全水平应由有关的权威当局规定。

若开裂的构件完全断开,不导致结构的灾难性的崩溃,则为局部失效。显然,这类失效的后果不那样严重,因而可采用低于总体失效时的安全水平。对于服役中局部失效可能引起严重事故的情况(如脱轨),应与总体失效等同地看待。

c) 检查的时间间隔:第八章做出了详细的建议。检查的重要性部分地取决于失效的后果。

3.04 对于局部失效的情况,在后续的损伤发生之前,通过检查可以发现疲劳失效。当不进行检查或不可能检查时,应提高安全水平。

3.05 具有总体失效的可能性而又难以或不能检查的情况,无论如何都不应推荐。

安全系数

3.06 疲劳评估应当证明,在设计寿命期内结构的疲劳抗力不低于预计的载荷效应。疲劳评估可以解析地表示如下:

$$\frac{\Delta\sigma_R}{\gamma_m} \geq \gamma_s \cdot \Delta\sigma_e$$

式中 $\Delta\sigma_R$ 是图 B1.1 中对应于一给定的应力循环数并用应力范围定义的疲劳强度。 $\Delta\sigma_e$ 可按设计应力谱求得(见第五章), γ_m 和 γ_s 是考虑到载荷和疲劳强度独立变化的分项安全系数。对于剪应力范围,也应作类似的评估。

3.07 对疲劳强度 $\Delta\sigma_R$ 选取的安全系数 γ_m , 应反映由于不连续性的尺寸、形状和接近程度的变化,以及局部应力集中,细节尺寸,冶金效应,残余应力,裂纹形状和焊接工艺的变动而引起的给定结构细节的疲劳强度的不稳定性。附录 B 中的细节分类是按疲劳强度曲线进行的,代表 $\log N$ 的平均值减去两倍标准偏差。考虑到用于细节分类的数据基数的大小,若精确地知道载荷情况,则存活概率大约是 95%。

3.08 通常,载荷参数是期望值而不是置信度的上限。在估算时,载荷安全系数 γ_s 应反映下列不定性:

——作用载荷的大小,

——作用载荷到应力和应力范围的转换,

——应力循环次数,

——设计应力谱的等效恒幅效应(见第五章)。

- 3.09** 第四章和第五章包含疲劳载荷的说明和应力计算等方面的指南。另一方法是,在评估一构件的剩余疲劳寿命时,可以从类似的运营结构或实际结构中取得特定的载荷资料。
- 3.10** 分项安全系数, γ_m 和 γ_s 不应小于 1。
- 3.11** 作为设计寿命终了时安全水平的指标,为按附录 C 确定分项安全系数,可以定义一个安全度指数 β 。
- 3.12** 安全度指数的目标值及其相应的存活概率,应是第七章和第八章建议的质量保障和运营维修要求的补充。当 β 大于 3.5 时,上述要求应予提高,而不对分项安全系数作进一步调整。

第四章 疲 劳 载 荷

一般原则

- 4.01 用于疲劳评估的载荷应接近于结构在整个寿命期间的预期的实际运营载荷。在承载能力极限状态（极限强度）设计中采用的载荷，不得用于疲劳评估。
- 4.02 当动力效应对应力谱产生影响时，应全部予以考虑。在某些类型的结构中，应计及振荡引起的应力。
- 4.03 测量的载荷历程可能不会精确地反映未来的疲劳载荷。某些结构中，如桥梁和吊车的等，应当考虑到用途的改变，如运量的增长，以及负载的改变等等。文献[1]提供了关于疲劳载荷概念的资料。

载荷模型化

- 4.04 疲劳载荷可由不同的载荷事例组成，每一载荷事例由其发生的相对频率、以及其大小和几何序列确定。
- 4.05 一个加载事件是在发生一个载荷事例时作用在整个结构上的明确确定的加载序列。它可能包括铁路桥梁中的一列车或公路桥梁中一辆车的驶入、通过和离开。加载事件的效应最好由其应力历程来描述，该应力历程是加载事件发生期间结构中某一给定位置的应力变化。
- 4.06 动力效应，诸如冲击作用，可能是很重要的因素。在缺乏较精确的资料时，可采用静力极限状态中使用的冲击系数。在很多情况下，静力冲击系数过高地估计了疲劳加载时的冲击效应；可从类似结构上的测量结果取用其平均值。
- 4.07 可根据代表全部加载事件疲劳效应的等效疲劳载荷，进行简化的设计计算。等效疲劳载荷随结构构件的尺寸和部位而变化。例如，桥的主梁可能不因各单个轮轴而受到多次应力循环；而接近于载荷接触点的较小构件，则在通过每一轮轴时将受到一次或多次应力循环。

铁路桥梁的疲劳载荷

- 4.08 该疲劳载荷由一定数量的典型列车（每一列车由其轴重和轴距确定）及其出现的相对频率和冲击系数确定。
- 4.09 根据线路等级分类，规定每天和每股线路上的列车总次数。对于多线桥梁，应预计到组合加载的出现频率和严重程度。
- 4.10 可在每天的列车次数与年总吨位间建立相互关系式。年总吨位能较好地确定短跨距桥梁和较小构件上的疲劳载荷。

公路桥梁的疲劳载荷

- 4.11 该疲劳载荷可由一定数量的典型车辆（每辆车由其轴重和几何尺寸确定）及其出现的相对频率和冲击系数确定。
- 4.12 根据公路等级分类，确定每一车道每天车辆总数。
- 4.13 疲劳载荷应作用在公路各指定的车道上。
- 4.14 必须考虑多车道的影响。

吊车梁的疲劳载荷

- 4.15 该疲劳载荷可由移动吊车的静载和起吊重量加以确定。应考虑到起吊重量的统计分布、起吊装置横位出现的频率以及纵向通过频率。
- 4.16 加载事件最好由一个完全的工作循环来描述，其中包括重物的起吊、吊车的移动、释放重物 and 返回到下一个起吊位置。
- 4.17 加载事件的次数可根据吊车的设计寿命及可能的工作强度予以确定。
- 4.18 进行吊车梁上部结构的疲劳评估时，要考虑到每个轮子（而不是整个吊机）产生的单个应力循环，可能是必要的。
- 4.19 标准加载事件可由简化的设计应力谱加以描述。

第五章 疲劳应力谱

应力计算

- 5.01** 应根据疲劳载荷并采用弹性分析法确定应力。对于复杂连接件的疲劳评估，在原形结构的适当位置上布置应变计，可给出更精确的应力（见附录 E1）。
- 5.02** 除非另有说明，对于表 B2.1~B2.5 中的每个细节，箭头所指的部位表示构件中公称应力范围值的计算位置。计算公称应力范围值的平面垂直于箭头方向。
- 5.03** 附录 B2 中的细节分类包括因焊缝形状、不连续性、三维应力等因素所引起的局部应力集中的影响。
- 5.04** 不是细节类型本身特有的应力集中的影响，诸如孔、切割、凹角等，应采用适当的应力集中系数分别加以考虑。
- 5.05** 当确定细节的公称应力时，应计算并考虑由于接头偏心、强制的扭曲变形、无意的弯矩或无意的固结（局部接头刚性）引起的应力的影响。
- 5.06** 当由 5.02 条所描述的平面承受法向应力和剪应力的复合作用时，疲劳评估应考虑它们的复合效应。
- a) 当疲劳载荷来源于各简单载荷事例时，应计算最大主应力。然而，仅当载荷事件发生时，正应力和剪应力同时产生（且在细节内同一位置），才应计算最大主应力。
- b) 若正应力和剪应力在同一位置上不是同时产生，则应用 Miner 定则、按下式将各损伤分量相加：

$$\left(\gamma_m \gamma_s \frac{\Delta \sigma_e}{\Delta \sigma_R} \right)^3 + \left(\gamma_m \gamma_s \frac{\Delta \tau_e}{\Delta \tau_R} \right)^5 \leq 1$$

$\Delta \sigma_e$ 和 $\Delta \tau_e$ 的定义见第 2 章；

$\Delta \sigma_R$ 和 $\Delta \tau_R$ 的定义见附录 B；

γ 值的定义见第 3 章。

- c) 当正应力和剪应力可能在两个不同的位置造成疲劳裂纹时，应对这两个位置分别进行疲劳评估。于是，不需要合成应力。

应力历程分析

- 5.07** 应力谱是一次加载事件期间产生的所有不同大小的公称应力范围出现率的列表。应力谱常采用应力循环计数法确定。这种方法表明一次加载事件期间发生的应力循环的幅度和次数。注意：一次加载事件可能发生一次或多次应力循环，这取决于给定结构构件的形式和检算位置。再则，每个加载事件产生的循环数可能与构件上要求进行疲劳评估的位置有关。

一个结构的不同构件可以有不同的应力谱。由全部加载事件引起的所有的应力谱，应加以编排。经编排的应力谱是可应用于疲劳评估的设计谱。