

GUIDELINES FOR INSPECTION AND STRENGTH EVALUATION OF
SUSPENSION BRIDGE PARALLEL WIRE CABLES

悬索桥平行钢丝主缆 检查及强度评估指南

编译 姚 超
主审 叶觉明
评审 郑明珠
吴明远
徐恭义
臧正保
范文理

崔 冰
杨 进
万田保
刘 榕
郭友谊



人民交通出版社
China Communications Press

Guidelines for Inspection and Strength Evaluation of
Suspension Bridge Parallel Wire Cables

悬索桥平行钢丝主缆检查 及强度评估指南

编	译	姚 超					
主	审	叶觉明					
评	审	郑明珠	崔 冰	吴明远	杨 进	徐恭义	
		万田保	臧正保	刘 榕	范文理	郭友谊	

人民交通出版社

内 容 提 要

本指南主要是针对悬索桥平行钢丝主缆的内部检查和强度评估。本指南明确了悬索桥主缆内部检查和强度评估的应用条件,通过实例,系统地介绍主缆内部检查记录、抽样试验确定钢丝性能、建立主缆数学模型、统计计算分析、评估主缆强度的具体步骤和实施方法。

本指南适用于悬索桥业主、主缆检修人员、悬索桥设计和检查维修的专业工程师。

图书在版编目(CIP)数据

悬索桥平行钢丝主缆检查及强度评估指南 / 姚超编

译. — 北京:人民交通出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-114-10783-2

I. ①悬… II. ①姚… III. ①悬索桥—主缆—检查—指南 IV. ①U448.25-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 161400 号

书 名: 悬索桥平行钢丝主缆检查及强度评估指南

编 译 者: 姚 超

责任编辑: 潘艳霞

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 880 × 1230 1/16

印 张: 5.5

字 数: 147 千

版 次: 2013 年 7 月 第 1 版

印 次: 2013 年 7 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10783-2

定 价: 120.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



前 言

在中国大跨度桥梁快速建设期,深圳市科兰德实业发展有限公司近年有幸完成了 20 多座桥梁除湿系统的设计、研发、制造和施工。2011 年,该公司又赴美国参加大桥主缆除湿系统投标,并与美国桥梁界的设计、工程总承包、业主和桥梁养护等单位进行了多项合作交流。由此感受到美国标准、规范关于大桥设计、建设、养护的一些先进理念。其中,NCHRP534——《悬索桥平行钢丝主缆检查及强度评估指南》,由美国国家科学院交通研究委员会组织编写,这是一本关于悬索桥主缆腐蚀检查、评估的权威著作。英国福斯桥首次全面应用本指南进行了主缆的检查和评估,已经取得初步成功。

国内多位桥梁设计师均给予该书高度评价,认为很有借鉴意义。我国从 1995 年建成第一座现代悬索桥——汕头海湾大桥到现在,时间不足 20 年,却已有多座悬索桥进行了主缆防护外层检修和大修。而对悬索桥主缆的检查和评估尚无统一的技术标准和指南,这是不可回避的悬索桥养护维修所面临的重要课题。

根据多位桥梁专家建议,特组织编译此书,希望能为悬索桥主缆设计养护维修提供参考,也为祖国的桥梁事业尽绵薄之力。

此书编译过程中得到以下专家大力协助:郑明珠、崔冰、吴明远(中交公路规划设计院有限公司),杨进、徐恭义、万田保(中铁大桥勘测设计院集团有限公司),臧正保(江苏省交通规划设计院有限公司),叶觉明(中铁大桥局武汉桥梁科学研究院),刘榕(湖南省交通规划勘察设计院),范文理(西南交通大学),郭友谊(深圳科兰德实业发展有限公司),在此表示感谢!

因编译者水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎指教,以便再版时更正。

由于多种原因,本指南未附原文的附录内容。如有需要,附录内容可联系深圳市科兰德实业发展有限公司,欢迎有兴趣的同行进一步交流探讨。

编译者至今未联系到著作权人,在此致歉,此标准著作权人可与本公司联系,支付版权相关费用。

深圳市科兰德实业发展有限公司 姚 超

2013 年 3 月

原 书 前 言

本指南包括对悬索桥平行钢丝主缆检查及评估提出的建议及操作指南,本指南对悬索桥业主和悬索桥主缆检修人员是非常有用的。

在美国,有 50 多座大型悬索桥,其中一半以上运营超过了 50 年(译注:美国有 100 多年现代悬索桥历史)。这些投入大量资金建设的桥梁都是当地的重要交通枢纽。随着这些桥梁建筑结构的老龄化,需要评估确认这些桥梁的状况和承载能力,估算结构剩余的使用寿命并采取预防措施延长桥梁的使用寿命。

长期以来,在理论和实践上都没有可靠的、经过国家认可的检查和评估悬索桥平行钢丝主缆状态和主缆强度的规范。1998 年,国家公路合作研究项目(以下简称 NCHRP)在美国新泽西州纽瓦克主办了“悬索桥主缆安全评估研讨班”,研讨班认为,最优先需要研究和确定的是:研讨开发主缆检查、取样、试验的规则;开发预测主缆退化状态强度的分析模型。如果采用不可靠的方法检测和评估,可能导致悬索桥主缆不必要的更换或不可预计的失效。

这项研究的目的是开发检查和评估悬索桥平行钢丝主缆所需的方法指南,提供主缆检查过程,包括钢丝取样和试验的详细规则。通过完整的条款、说明和举例,介绍主缆强度评估的应用条件,以及通过检查和相应的试验室试验确认钢丝性能。

这项研究工作在 Altran(奥创)公司和 Foster-Miller(米勒)公司的协助下,由 Weidlinger 联合体实施。

交通研究委员会 David B. Beal

原 书 导 读

本指南适用于对悬索桥主缆的全面评估,明确并标准化主缆在运营一定时间后的评估程序。本指南不可能使一个新手成为悬索桥专家,本指南适用于熟悉悬索桥设计和分析并具备悬索桥主缆知识的工程专家。

一个主缆检查评估小组应包括以下人员:

首席调研员,一名具备悬索桥专业知识的、有经验的工程师,能领导整个项目的全过程。

总检查员,一名具备桥梁检查经验的专业工程师,最好有缆索检查经历。

一名或多名缆索检查员,具备2~3年设计或检查经验的工程师。

工作人员,具备计算机分析、电子表格和应用数学程序经验的工程师。

合格的试验室试验员。

冶金和腐蚀专业顾问。

统计员(如果需要)。

本指南提出了系统、有序的步骤,全面定义了从检查计划到强度评估的整个主缆评估过程。虽然本指南文本的部分内容可以应用于螺旋钢绞线主缆,但本指南主要是针对悬索桥平行钢丝主缆。如果检查工作仅限于个别节段,本指南就不能提供有关主缆的最薄弱环节强度的评估意见。但是在此基础上需要深入调查主缆时,也推荐应用本指南。

第1章主要是关于悬索桥主缆的一般说明,包括主缆的自身结构、与桥梁结构的连接和保护系统。本章用图示方法来说明主缆系统的各个部分,讨论了主缆腐蚀的原因,以及腐蚀分级定位的调查方法。特别值得关注的是用图片显示了腐蚀钢丝的目视外观等级程度,本章也包括术语词汇和健康与安全要求的信息。

第2章系统提出了主缆的三个检查层次——维护人员的定期外观检查、每两年一次的检查和暴露主缆内部钢丝的内部检查。本章包含关于检查测量和记录数据的操作指南,以及抽取钢丝样本的要求。基于有限的打开检查的代表节段数量和主缆检查取得的原始数据,本章推荐了主缆内部检查的频率和检查位置。随着更多主缆检查的实践,可以结合检查结果的实际数据来判断或修改这些推荐意见。

第2章还简单地介绍了新开发的一项声学钢丝断丝监测技术。通过系统监测,记录,主缆内部钢丝断丝的声音并汇总近期断丝情况,以决定何时、尤其是在何处开展下一次检查。这项技术对旧主缆检查是非常有益的,因为选择主缆最佳检查时间和部位是非常重要的。

第3章介绍了从主缆钢丝上取样进行物理和化学试验的要求,包括拉伸试验和通过试验确定钢丝化学成分、锌层的状态。

第4章的重点是主缆内部损伤编目登记和试验结果统计分析的实用技术。主缆强度



(主要是抗拉强度,在某些情况下,还有最大延伸率)评估需要通过计算获得钢丝性能的平均值和标准偏差。这些过程不需要先进的统计知识,使用标准空白表格程序,甚至手工即可完成。本章还介绍了一种稍微复杂的统计分析方法,用来估计给定长度钢丝出现这种性能的最小值,类似于估算一个连续链条中最薄弱环节的强度,曲线图的提供大大降低了这些分析的复杂性。

人们已经注意到,在主缆内部检查时,由于钢丝间的摩擦力,主缆钢丝应力从断丝点经过一段距离(译注:即断丝扩展长度)后又恢复,第4章提出了一种应力的估算方法,假定钢丝通过索夹后应力恢复。用这种方法分析时,保守地忽略了缠丝的影响,它是不容忽略的。

第5章给出了评估主缆强度的三个模型。模型基于以下假设:即所有主缆钢丝在索夹之间长度伸长相同;一根单独钢丝在最大伸长时断丝,此后不再分担主缆应力;在某些钢丝断丝后主缆的强度小于其面积与钢丝平均抗拉强度的乘积。

第5章还介绍了钢丝区分破坏增长等级的分组方法,通过插入图表,辅助评估被评估节段的相邻节段损伤造成的影响(包括断丝的影响)。本章的统计方法比前一章更先进,通过应用极限应变或应力强度的韦伯(Weibull)分布,以及某些电子表格程序,简化了计算。

第6章列出了涵盖所有三个层次检查的书面报告的要点。

附录A给出了分布方程,以及一个用于计算的分布参数的迭代方法。没有提出使用韦伯(Weibull)格纸的替代方法,替代方法可以在统计教材中找到。用于评估主缆强度的方程式也包括在附录A中。

附录B表述了计算相邻节段损伤主缆强度对评估节段影响的原因。如果检查所有的主缆节段,计算将是非常冗长的。因此,只应用在检查中发现的情况最严重的节段,或者不应用,除非有必要考虑所有主缆强度全部数据的来源。

由于评估时假设所有节段处于相同的条件,所以导致对主缆强度的低估;提供的附图可以简化计算。

附录C给出了三种强度计算的案例,使用的是相同的检查数据。前两个案例使用简化和脆性钢丝模型,假设所有节段处于相同的条件。第三种案例假设所有节段被检查,利用一个容量非常大的电子表格,需要打印16页,非常冗长,也表明除非在极端情况下才使用它的原因。

附录D说明了通常用来替换损伤钢丝或抽样钢丝的方法。

目 录

1 概述 1

1.1 简介 1

1.1.1 指南的范围 1

1.1.2 指南的用户 1

1.1.3 术语词汇 1

1.1.4 专业机构 5

1.1.5 国家准则与标准 6

1.2 健康与安全要求 6

1.2.1 铅与主缆 6

1.2.2 <美>《职业安全与卫生条例》的其他规定 6

1.2.3 人员培训计划 7

1.2.4 行人与车辆交通 7

1.2.5 航行安全 7

1.2.6 桥梁安全计划 7

1.3 悬索桥 7

1.3.1 主缆和主缆钢丝 7

1.3.2 桥梁主缆细节 10

1.3.3 主缆保护体系 14

1.4 腐蚀的原因 16

1.4.1 概况 16

1.4.2 腐蚀机制 17

1.5 调查技术 18

1.5.1 无损检测技术 19

1.5.2 主缆强度分析 19

1.6 本章参考文献 19

2 检查 20

2.1 简介 20

2.2 检查间隔时间和位置 20

2.2.1 检查分级 20

2.2.2 维护人员的检查 20

2.2.3 两年一次的检查 21

2.2.4 内部检查 22

2.2.5 内部检查的位置 26

2.3 内部检查 28

2.3.1 概况 28

2.3.2 检查计划 28

2.3.3 施工计划 32



2.3.4	无损检测(NDE)技术	35
2.4	检查和取样	35
2.4.1	解除主缆缠丝	35
2.4.2	楔开主缆	37
2.4.3	钢丝的检查和取样	39
2.4.4	识别微观环境	43
2.4.5	拆除索夹和吊索	43
2.4.6	重新评估检查计划	44
2.4.7	重新安装主缆保护系统	44
2.4.8	主缆修复期间的检查	44
2.4.9	锚固区域的检查和试验	45
2.4.10	检查鞍座的主缆	47
3	试验室试验	49
3.1	简介	49
3.2	钢丝性能试验	49
3.2.1	准备试样	49
3.2.2	拉伸试验	49
3.2.3	获取作用力与应变曲线的数据	50
3.2.4	可疑钢丝的断口检查	50
3.2.5	既有裂纹的断裂表面检查	51
3.3	镀锌层试验	51
3.3.1	锌重试验	51
3.3.2	锌层均匀度普利斯试验	51
3.4	化学分析	52
3.5	腐蚀分析	52
3.6	本章参考文献	53
4	现场检查评估和试验室数据	54
4.1	简介	54
4.2	图示和损伤评估	54
4.2.1	特定深度的钢丝数量	54
4.2.2	每个腐蚀等级的主缆比例	56
4.2.3	断丝的数量	58
4.3	钢丝性能	60
4.3.1	概况	60
4.3.2	断裂钢丝作为特殊组	60
4.3.3	单根钢丝	61
4.3.4	每一组钢丝的平均值和标准偏差	62
4.4	钢丝修复	62
4.4.1	索夹处的钢丝作用力	62
4.4.2	有效扩展长度及恢复系数	63
5	评估主缆强度	65
5.1	简介	65
5.2	评估主缆强度	65

- 5.2.1 概况..... 65
 - 5.2.2 钢丝分组..... 65
 - 5.2.3 未断裂钢丝的强度..... 68
 - 5.2.4 断丝修复..... 73
 - 5.2.5 主缆强度..... 74
- 6 检查报告..... 75
 - 6.1 简介..... 75
 - 6.2 维护人员的常规检查..... 75
 - 6.3 两年一次的检查..... 75
 - 6.4 内部检查..... 75

1 概 述

1.1 简 介

1.1.1 指南的范围

本指南主要包括如下内容:

- (1) 检查桥梁主缆的方法。
- (2) 以最少的精力和最低的成本获得最佳的统计样本的收集数据标准。
- (3) 钢丝试验的标准。
- (4) 评估主缆强度的方法。
- (5) 指南仅适用于平行钢丝主缆悬索桥。

主要内容是描述楔开主缆内部检查和评估主缆强度的适用条款,但是,大部分的内容在广义上与螺旋钢绞线主缆具有关联性。

1.1.2 指南的用户

本指南适应于以下用户:

- (1) 悬索桥业主,规划检查和准备工作范围标准。
- (2) 调查员和下属人员,规划检查和评估检测中收集的信息。
- (3) 现场检查人员,执行检查。
- (4) 施工人员,提供通道、打开缠丝和楔开主缆,重新缠包或者是更换防护系统。
- (5) 试验室人员,钢丝样本试验。

推荐检查间隔时间和部位对桥梁业主是十分有用的,这使得主缆检查和评估规范化、标准化和程序化。然而,本指南无意取代聘请经验丰富的工作人员进行主缆检查或评估。应该由有主缆构件评估实践经验的工程师负责主缆调查,评估主缆强度需要具备大学毕业水平的数学能力。

1.1.3 术语词汇

A

Adjustment 调整(主缆纺丝法):校正每根索股中钢丝的长度,或每根主缆中索股的长度,使所有的钢丝承受相同的恒载应力。

Anchorage 锚具:主缆端部结构,也可以理解为把主缆固定在其上面的构件。

B

Bottom of the Cable 主缆底部:主缆横截面最低钢丝处。

Bridge Wire 桥梁用钢丝:通常指符合 ASTM(美国试验材料协会) A586 标准的悬索桥主缆钢丝。

Bright 光面钢丝:无涂层的或是未镀锌的钢丝。



C

Cable 主缆:悬索桥的主要支承构件。

Cable Bands 索夹:钢铸件,在主缆上固定吊索。

Cable Band Bolts 索夹螺栓:在主缆上紧固两个半索夹,并提供正常抗滑力的螺栓。

Cable Capacity 主缆能力:见主缆强度。

Cable Opening 主缆打开长度:为了检查而解除缠丝的主缆长度。

Cable Strength 主缆强度:主缆失效时的最大作用力。

Cast 圈绕:在钢丝生产过程中形成的弯曲。

Cast Diameter 圈径:铺在地上的无应力的钢丝在自由状态的圆圈的半径,又称为自由线圈半径。

Cold Drawing 冷拔:在室温下依次通过更小的拉拔模具的钢丝制造方式。

Compaction 紧缆:压紧主缆形成尽可能密集的圆形截面。

Continuous Wire 连续钢丝:没有断裂的钢丝。

Controlled Tension 张力控制:在空中纺丝形成主缆索股时,保持钢丝恒定应力的方法。

Corroded Wire 钢丝腐蚀:钢丝部分表面出现铁锈腐蚀(并不意味着截面损失),参见腐蚀阶段分级。

Corrosion Stage 腐蚀阶段分级:基于外观检测的描述主缆钢丝上锌层退化和铁锈腐蚀逐步恶化的四个阶段。

Cracked Wire 裂纹钢丝:钢丝有裂纹但没有断裂,检测样本在试验室通过目测可以检查到表面裂纹(在楔开的主缆内部几乎不可能看到)。

Crossing Wires 交叉钢丝:主缆架设缺陷,主缆中一些钢丝与其他钢丝交叉。

D

Dehumidification 除湿:降低环境的相对湿度,以防止冷凝水。

Distribution 分布:用来表达主缆钢丝强度和极限伸长率变化的数学表达式。

E

Effective Development Length 有效扩展长度:主缆的一段长度,超出这个长度,断丝不再影响在此长度外的节段主缆强度。

Elongation 伸长:由于应力或温度的改变造成的钢丝伸长。

Environmentally Assisted Cracking(EAC) 环境敏感开裂:与主缆内部环境相关联的电化学反应引起的裂纹。

Error, Systematic 系统错误:由不正确的计算、观察或试验引起的重复错误。

Error, Random 随机错误:由于样品和正在研究的“现实领域”之间的差异造成的错误。

Evaluated Panel 评估区段:已检查的主缆节段,在此节段计算主缆强度。

F

Free Coil Radius 自由线圈半径:见圈径。

G

Galvanized Wire 镀锌钢丝:应用镀锌层的钢丝。

Gaussian Distribution 高斯分布:常用的概率分布。

Gross Metallic Area 总金属面积:包括锌层在内的镀锌钢丝的横截面面积。



H

Helical Strand **螺旋钢绞线**:钢绞线围绕一个中心的直丝卷绕钢丝组成,每一层都是向下一层的相反方向缠绕,也称桥梁结构钢绞线。

Helical Strand Cable **螺旋钢绞线主缆**:由彼此平行放置的螺旋钢绞线构成的主缆,通常用于短跨度的悬索桥。

Hydrogen Embrittlement (HE) **氢脆**:由氢渗透引起的钢材脆性和强度降低现象。

Hydrogen-Assisted Cracking (HAC) **氢致开裂**:需要氢存在的裂解过程。

I

Investigator **调查员**:负责进行主缆检查和评估的专业工程师。

L

Low Point (of Cable) **最低点(主缆)**:(主缆)主跨和边跨的最低海拔高度位置。

M

Macroenvironment **宏观环境**:桥梁一般区域的大气环境,如风、盐雾、融雪(除冰)盐和飞溅区的其他污染物。

Mean **平均值**:钢丝性能的平均值。

Microenvironment **微观环境**:影响主缆内部钢丝的因素,包括钢丝表面的水、污染物,酸性和碱性条件,以及硫酸盐、碳酸盐和硝酸盐。

Monte Carlo Technique **蒙特卡罗技术**:计算主缆最小强度的可能持续时间的统计方法。

N

NDE **无损检测**:通常借助设备在不伤害结构的条件下对内部损伤进行的检测。

Necking **颈缩**:钢丝在断裂处直径的缩减。

Net Steel Area **钢材净面积**:一根未被腐蚀的镀锌钢丝的钢材部分的面积。

Nominal Area **标称面积**:桥梁用钢丝的总金属面积或净钢材面积的规定值,区别于实际测量的面积。

Normal Distribution **常态分布**:见高斯分布。

O

Octant **八分扇区**:这部分的主缆相当于主缆区域截面的 $1/8$ 和圆周的 $1/8$,或包括钢丝总量的 $1/8$ 。

Oiling **加油**:添加油状物(一般是亚麻籽油)进入主缆,保护主缆钢丝不受腐蚀。

Owner **业主**:负责运营和维护桥梁的公共或个人实体。

P

Panel **节段**:两个相邻的吊索或索夹之间的部分桥梁或主缆。

Panel Length **节段长度**:一个水平测量的节段长度。

Panel Point **节点**:节段的终端。

Parallelism **平行度**:钢丝平行的程度,优良平行度的标志是很少有交叉钢丝。

Percent Elongation **延伸率**:两个标注点之间长度的变化。进行钢丝拉伸试验时,从零到破断荷载

区间测量,用预设无应力的标距长度(通常为0.254m)的百分比表示。

Ply (of Wrapping Wire) 层(缠丝):钢丝绕主缆缠绕,有时是多组钢丝相邻缠绕,形成一层。通常是1、2层缠丝,3、4层很少;层数多,并不表示多层次。

Polarization 极性:一个元件的电势的改变(相对于地)。

Preece Test 普里斯试验:测定不规则的退化的镀锌层最小剩余(最低)耐腐蚀性的标准方法。

Protection System 防护系统:用来防止主缆腐蚀的方法,包括钢丝镀层、涂油、缠丝、涂层、氯丁橡胶或塑料护套,还有注入干燥空气。

Q

Quadrant 四分之一圆周:这部分主缆相当于整个主缆截面的1/4和圆周的1/4,或者是主缆钢丝数量的1/4。

R

Random Numbers 随机数字:没有数学模型的数字,参考蒙特卡罗技术。

Residual Stress 残余应力:不施加轴向或平面(即地面水平方向)力时的钢丝应力。

Raw Linseed Oil 天然亚麻籽油(RLO):亚麻籽油没有干燥作用,用在红铅油膏中,并且用作阻腐剂。

Redevelopment 恢复:断丝经过断裂处的一定距离后重新恢复的应力或所有钢丝断裂前的应力。

Redevelopment Length 恢复长度:破断钢丝恢复承受全部荷载功能的距离。

Red Lead Paste 红铅油膏(红丹腻子):由铅的氧化物和亚麻籽油组成的腻子,用于主缆缠丝下层作为附加保护。

Ring(of Cable) 环(主缆):主缆划分的圆形区域,包括与主缆中心在一个给定的距离内的所有钢丝。

S

Safety Factor 安全系数:主缆强度与主缆在运营荷载条件下最大主缆应力强度的比值。

Sag Control 垂度控制:在主缆空中纺丝架设过程中,通过控制最终的下垂量来控制钢丝位置的方法。

Sample 样本:预期代表所有具有相同性能(例如:处于相同退化阶段)的一组钢丝,参考《钢丝样本》。

Sector(of Cable) 扇区(主缆):作为计算用途的主缆饼状区间。

Segment(of Cable) 层(主缆):作为计算用途的主缆环状区间。

Shakeout 展开:去掉所有绑缚,使其呈自由悬挂状态,检查一根空中纺丝索股。

Shop-Fabricated Parallel Wire Strand(PWS) 工厂预制平行钢丝索股(PWS):工地现场以外制造的、钢丝相互平行排列的主缆索股。

Specimen 试样:从钢丝样本切出的用于进行试验的一段钢丝。

Spinning(Aerial) 纺丝(空中):通过不断循环拉着钢丝横跨桥梁,直到足够量的钢丝形成一根索股,足够多的索股形成主缆的主缆架设方法。

Splash Zone 飞溅区:由水流、波浪作用以及车辆飞溅引起的潮湿与干燥交替的区域。

Standard Deviation 标准偏差:统计衡量的钢丝属性的变化量。

Straightening Stress 拉直应力:为减小钢丝曲率以与主缆曲率相匹配产生的钢丝弯曲应力。

Strand 索股:独立的钢丝束,系统地组合在一起形成了主缆。

Strength Test 强度试验:索股钢丝试样在试验机上受拉到破断的试验。



Stress Corrosion Cracking (SCC) **应力腐蚀开裂 (SCC)**: 钢丝在有或没有氢作用下由于应力加腐蚀开裂, 参见氢致开裂。

Stress-Strain Curve **应力—应变曲线**: 强度试验中产生的曲线图, 表明了钢丝样本中应力与应变之间的关系。

Suspenders **吊索**: 连接悬跨结构和主缆的竖直钢丝绳或索股构件。

T

Tensile Strength **拉伸强度**: 钢丝能够承受的最大拉应力。

Tensile Control **应力控制**: 参见控制应力。

Tests **试验**: 用于确定钢丝性能和主缆钢丝受力的现场或试验室程序。

Turning Point **转折点**: 主缆改变方向的位置。

U

Ultimate Strain **极限应变**: 钢丝断裂时的应变。

Unloaded Side Spans **无荷载边跨**: 没有吊索的边跨 (在悬索桥边跨区域桥面不是由主缆支承)。

UV **紫外线**。

V

Variance **方差**: 主缆钢丝属性的统计值, 与标准偏差有关。

W

Wedging **楔开**: 用塑料或者橡木楔子插入主缆钢丝中, 打开一个空间观察内部钢丝。

Weibull Distribution **韦伯分布**: 钢材强度常用的概率分布。

Weight of Coating Test **锌层重量试验**: 确定桥梁用钢丝的平均镀锌层的重量的标准试验。

Wire (in cables) **钢丝 (主缆)**: 用于制造主缆的、直径可达 7mm 的细长连续的高强度钢构件。

Wire Rope **钢丝绳**: 由六根或者是更多的螺旋钢绞线, 环绕一根独立的麻绳或另外一条钢绳或钢绞线组成的钢结构件。

Wire Sample **钢丝样本**: 从主缆上取样用于试验的一段钢丝。

Wire Strand **钢绞线**: 区别于钢丝绳的钢结构件, 由多层平行的纵向钢丝或螺旋钢丝制造而成, 后者也称桥梁钢绞线。

Wire Strength **钢丝强度**: 钢丝断裂时的应力。

Wrapping (Wrapping Wire) **缠丝 (缠包钢丝)**: 在大部分主缆上形成覆盖保护层, 连续成圈的软钢丝。

Y

Yield Point **屈服点**: 钢丝应力—应变曲线上的一点, 该点的残余应变是 0.2%。

Yield Strength **屈服强度**: 屈服点的钢丝应力。

Z

Zinc Coating **镀锌层**: 按工艺规范和标准镀锌, 使锌层均匀镀在桥梁钢丝上, 用以防止腐蚀。

1.1.4 专业机构

按首字母排列:

AASHTO 美国国家公路运输管理员协会



AISC	美国钢结构学会
ANSI	美国国家标准化组织
ASCE	美国土木工程师协会
ASTM	美国试验材料协会
AWS	美国航空气象处
EPA	美国环保署
FHWA	美国联邦公路局
NCHRP	美国公路合作研究组织群
OSHA	美国职业安全与卫生条例
USCG	美国海岸警卫队

1.1.5 国家准则与标准

出版资料:本指南介绍了从实践得出的检验频率,提供了具体的材料和训练以及提高工作人员素质的指导方针,请参考以下出版资料。

AASHTO	《桥梁状况评估手册》(第二版)1994 年
FHWA	《桥梁检测培训手册》1990 年
FHWA	《桥梁主要构件破坏的检测》1986 年
NBIS	《桥梁检测的国家规定指南》(国家桥梁检测标准)1988 年
公共安全出版资料:以下列举的国家文件中包含了关于公共安全的规则 and 标准。	
ARC	《标准性急救工作手册》(美国红十字会)1911 年
FHWA	《统一交通控制设施手册》2000 年
OSHA	《国家规章制度 (CFR)》第 29 条
OSHA	《国家规章制度 (CFR)》第 23 条(高速公路安全部分)

1.2 健康与安全要求

在繁忙的高速公路和航道上检查主缆,对人和环境会产生危害。因此,在计划和落实检查项目时,保护施工人员、检查人员、驾驶员、行人以及航运交通的安全,是很重要的工作。

业主通常会要求承包商制订一个健康和安​​全计划,计划要与业主的健康安全规定相符,并得到业主的最终认可。该计划必须包括所有政府和业主要求的条款规定。

1.2.1 铅与主缆

解除缠丝的主缆会向周边环境释放干燥的氧化铅腻子,这是联邦法规所禁止的。因此,必须建立保护性帷帐(保护罩)。美国环保署(EPA)和<美>《职业安全与卫生条例》明文规定,要监测桥梁检查人员和施工人员的血液,并采取以下防止铅吸收的措施:工作服必须定期更换,并不准带回家。

吸烟会加速铅的吸收,如果允许吸烟,也必须严格遵循保健规定。严禁在有易燃物的工作平台上吸烟。

根据<美>《职业安全与卫生条例》(第 29 条,D 部分,1926. 62)的规定,控制、处理和处置程序必须在施工前得到确认。

1.2.2 <美>《职业安全与卫生条例》的其他规定

<美>《职业安全与卫生条例》规定中还包含了交通环境下的安全工作(第 23 条)以及必须在暴露的环境下工作(第 29 条,L 和 M 部分)。

有些业主要求检查人员佩戴安全带,两条吊带总是系在两根扶手绳上或者工作平台的其他独立的构件上。有些业主要求检查人员在主缆上行走时(安全带)必须系在扶手绳上,在密封的工作平台上则不用。

1.2.3 人员培训计划

工作人员必须熟悉与主缆检查相关的健康危害,并且要对他们进行健康保护相关仪器的使用和检测程序的培训。请参照<美>《职业安全与卫生条例》中的适应性手册培训要求。

1.2.4 行人与车辆交通

为保证桥上、公路、人行道和桥下区域的交通,所有建筑设备、材料、小工具、楔子(楔子有时可能因钢丝挤压从主缆弹射出来)等,必须置留在工作平台范围内。基于这个原因,在吊索周围的工作平台应该装有踢脚板和无通透的地板。推荐使用细网或防护罩。把它们固定在扶手绳上,从工作平台的一边到另一边完全圈住整个工作空间。

1.2.5 航行安全

航行水域上所有的工作必须经美国海岸警卫队 USCG 批准。船只的保护计划是工作规范的一部分内容。美国海岸警卫队对燃烧(下落的火花)、航船上方的建筑、猫道上的易燃气体数量、坠落物、水道污染等进行控制管理。他们预计将强制执行安全法规,包括主缆工作人员之间和附近船只的船员之间的通信。

1.2.6 桥梁安全计划

业主一般要根据当地政府建设管理部门的具体规定,对涉及靠近铁道或人行道,维护交通和车道关闭等工作负责。业主也负责办理主缆工程需要的不同类型的保险。承包商和检查人员对业主的有关规定承担责任。

当检查人员和施工人员在平台上工作时,必须有一条备用船。据报道,主缆涂装作业曾经对交通工具造成过损害。拆除吊索(为了靠近索夹)可能会在车辆较多的高速公路或者是铁路附近进行施工,此时可能不得不封闭一段时间交通,以确保公共安全。

1.3 悬 索 桥

悬索桥是一种大型的、独特的建筑结构,由两根或两根以上的主缆将桥面的重量和大部分活载传递到支承主缆的桥塔上。悬吊系统承担应力,两端必须牢固锚固。这些主缆临界断裂,没有多余的荷载通道。

图 1.3 是典型的悬索桥结构视图。

图 1.3 标明了悬索桥主要构件和主缆最低点部位,这对主缆评估有重要的意义,参见第 2 章。

1.3.1 主缆和主缆钢丝

大部分北美的桥梁主缆都是由直径为 0.192in(4.876 8mm)的钢丝组成,镀锌层厚为 0.002in(0.050 8mm),6ft 的盘绕[即 3ft(0.914 4m)的自由盘绕半径],碳含量大约为 0.8%。

基于钢丝的总金属面积,包括镀锌层的横截面面积,规定最小破断强度在 215ksi(1 482.425MPa)到 225ksi(1 551.375MPa)之间。

纽约的威廉斯堡大桥(Williamsburg Bridge)就是一个有名的案例,它的主缆是由光面(没有镀锌的)钢丝构成的,平均直径为 0.190 7in(4.843 78mm)。另一个案例是布鲁克林大桥(Brooklyn Bridge),主缆