

桥梁索体系

特殊检测及维修加固技术

Special Detection and Maintenance Technology
for Bridge Cable System

林阳子 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

Special Detection and Maintenance Technology

桥梁索体系特殊检测及

for Bridge Cable System

维修加固技术

林阳子 编著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书主要内容包括桥梁及其索体系的检测、维修加固综述;对缆索桥梁尤其是索体系情况进行系统介绍;根据最新的研究成果和工程实践,介绍了桥梁索体系的特殊检测技术和维修加固技术。其中特殊检测包括桥梁索杆 PE 外观检测、桥梁索杆内部锈蚀断丝无损检测、桥梁索杆锚固系统检测、短吊杆索力检测与监测、索夹高强螺栓预紧力检测;特殊维修加固包括桥梁索杆 PE 损伤维修及除湿、斜拉索缠绕 PVF 带及螺旋线维修、桥梁索杆振幅控制、桥梁索杆锚固端维修、悬索桥主缆防护维修及除湿、桥梁索杆更换;并对部分特殊作业平台工装进行介绍。

本书可供从事桥梁检测、养护、维修加固人员,以及设计人员和院校相关专业师生借鉴和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁索体系特殊检测及维修加固技术 / 林阳子编著.

—北京:人民交通出版社股份有限公司,2016.8

ISBN 978-7-114-13205-6

I. ①桥… II. ①林… III. ①桥梁结构—缆索—检测

②桥梁结构—缆索—维修③桥梁结构—缆索—加固 IV.

①U443.38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 177052 号

书 名:桥梁索体系特殊检测及维修加固技术

著 作 者:林阳子

责任编辑:崔 建

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:720×960 1/16

印 张:11.75

字 数:213 千

版 次:2016 年 9 月 第 1 版

印 次:2016 年 9 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13205-6

定 价:35.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

QIANYAN



近年来我国桥梁建设取得了日新月异的发展,我国索体系桥梁建设技术已进入世界先进行列,建桥速度之快、数量之多、跨越能力之大为世界所瞩目。由于大跨径桥梁通常使用缆索承重体系,包括主缆、斜拉索、吊杆和系杆等,且桥梁索体系一般布置在桥梁外部,并处于高应力状态,对外界侵害比较敏感,大量已建桥梁的索体系在运营中面临着一系列的特殊检测、养护、维修及加固。对运营中结构复杂的索体系桥梁,尤其是其中的索体系,必须进行科学的检测和养护维修与管理,才能保证桥梁处于正常的工作状态,满足使用要求,尽可能延长桥梁的使用寿命。

桥梁的索体系在早期修建时由于受当时桥梁建设技术及后续检测养护等因素的限制,难以进行简便、快速、无损的检测,对存在病害的桥梁索体系也未能及时、科学地维修加固,导致桥梁索体系的破坏存在极大的不确定性和突发性。国内外均已发生了多起桥梁索体系损坏、断裂甚至导致桥梁坍塌的事故,并且由于未能科学及时地检测、养护、维修加固,导致索体系较短服役时间就需要换索的情况时有发生,经济损失和社会影响较大。

随着索体系的材料和制作工艺的发展,以及运营过程中索体系检测技术和维修加固技术的发展,有必要对相关的新技术、新经验及时总结,不断完善和提高检测和维修加固的技术水平和运营管理水平。本书编著者结合自身完成的桥梁索体系检测、维修加固和科研工作积累的一些经验,并收集整理近十年来有关桥梁索体系特殊检测及维修加固工程的成熟技术和应用成果编著本书。本书在严格执行我国桥梁的技术标准的同时,力求实用性强,具有实际工程运

用的参考价值。

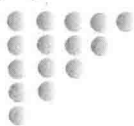
本书共分十章。主要包括对桥梁及其索体系的检测、维修加固内容进行综述;对缆索桥梁尤其索体系情况进行系统介绍;根据最新的研究成果和工程实践,介绍总结桥梁索体系的特殊检测技术和维修加固技术。其中特殊检测包括桥梁索杆 PE 外观爬索机器人检测、桥梁索杆内部锈蚀断丝无损检测、桥梁索杆锚固系统检测、短吊杆索力检测与监测、索夹高强螺栓预紧力检测;特殊维修加固包括桥梁索杆 PE 损伤维修及除湿、斜拉索螺旋线维修及缠绕 PVF 带、桥梁索杆振幅控制、桥梁索杆锚固端维修、悬索桥主缆防护维修及除湿、桥梁索杆更换;并对部分特殊作业平台工装进行介绍。

本书由林阳子编著,广东省交通规划设计研究院股份有限公司、广东和立土木工程有限公司、广东盛翔交通工程检测有限公司、深圳市索杆桥梁工程检测有限公司、江苏省交通科学研究院股份有限公司、江阴法尔胜住电新材料有限公司、柳州欧维姆机械股份有限公司等单位提供了部分宝贵资料,在此深表感谢。

由于编著者水平所限,文中不当之处或错误在所难免,恳请读者提出宝贵意见。同时随着科技进步和桥梁事业的不断发展,本书的内容也应不断修订、补充,读者宜结合实际工程情况,灵活运用。

林阳子
2015 年 12 月

目录 MULU



第 1 章 绪论	1
1.1 桥梁检测维修加固	1
1.2 桥梁及其索体系检测	1
1.3 桥梁及其索体系维修加固	4
第 2 章 缆索桥梁及其索体系	8
2.1 索体系桥梁及受力特点	8
2.2 桥梁索体系简介	19
第 3 章 桥梁索杆 PE 外观检测	39
3.1 桥梁索杆 PE 外观检测必要性及方法	39
3.2 爬索机器人检测技术	40
3.3 工程案例	48
第 4 章 桥梁索杆内部锈蚀断丝无损检测	53
4.1 桥梁索杆锈蚀断丝检测的必要性及要求	53
4.2 索杆内部锈蚀断丝原因分析	56
4.3 索杆内部锈蚀断丝检测技术	59
4.4 磁致伸缩导波检测技术	61
4.5 室内系列试验研究	67
4.6 工程案例	75
第 5 章 桥梁索杆自由段维修	84
5.1 桥梁索杆损伤维修	84
5.2 桥梁索杆除湿	88
5.3 斜拉索缠绕 PVF 带及螺旋线维修	89
5.4 桥梁索杆振幅过大控制	90

第6章 桥梁索杆锚固系统检测维修	93
6.1 桥梁索杆锚固端构造	93
6.2 索杆锚固端病害及检测	101
6.3 索杆锚固端维修	104
第7章 短吊杆索力检测与监测	109
7.1 短吊杆破坏的成因及预防措施	109
7.2 桥梁索杆索力检测方法分析	110
7.3 磁通量测量索力技术	111
7.4 工程案例	117
第8章 悬索桥主缆检测维修	121
8.1 索夹高强螺栓预紧力检测与复紧	121
8.2 悬索桥主缆防护维修	125
8.3 悬索桥主缆除湿	127
8.4 工程案例	132
第9章 桥梁索杆更换	138
9.1 桥梁索杆更换评估及设计	138
9.2 索杆更换方法	141
9.3 索杆更换施工工艺	144
9.4 换索施工监控	149
9.5 索杆更换质量验收	151
9.6 工程案例	151
第10章 特殊作业平台与工装	172
10.1 沿主缆爬行工作平台	172
10.2 换索临时兜吊系统	173
参考文献	180

第1章 绪 论

1.1 桥梁检测维修加固

每座桥梁在使用过程中,其结构功能和使用性能都会因行车荷载和环境因素的不断作用而逐渐弱化。如果遇上突发事件和自然灾害,还会发生破损乃至毁坏。因此,在使用期内需要有具备桥梁检测与维修加固相关知识与技能的人员和一定的资金,对桥梁进行定期的检测和养护管理,使每座桥梁处于较好的技术状态,保持一定的服务水平,延长其使用年限。

一般而言,桥梁检测和养护维修工作应包括以下4个方面:

(1) 技术状况检查

进行技术状况检查的目的在于系统掌握桥梁技术状况,及时发现病害缺损,采取相应的养护措施。

(2) 建立和健全完整的桥梁技术档案

应根据桥梁检查结果,按照桥梁实际的技术状况予以评定等级,并建立技术档案,为桥梁养护维修和安全评估提供依据。技术档案系统应至少包括设计施工、桥梁结构检测及桥梁养护维修三个子系统。

(3) 对桥梁构造物进行经常保养、维修与加固

采取正确的、先进的技术措施,依照有关的技术法规,对桥梁及其附属设施进行经常性保养维修,首先应保持桥梁符合载重等级要求,保证车辆安全通行。通过维修加固不能维持原设计载重等级要求时,应有计划地进行技术改造。

(4) 对桥梁构造物进行安全防护

桥梁构造物如遇缺损,应立即进行修理、更换和恢复。在非常时期,如在流冰和洪水期间应及时采取防护措施。

1.2 桥梁及其索体系检测

1.2.1 桥梁检测工作分类

我国现行的《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004)和《城市桥梁养护技术规

范》(CJJ 99—2003)均将桥梁检查分为经常检查、定期检查和特殊检查3类,其中特殊检查又分为专门检查和应急检查。大多数地方标准如《重庆市城市桥梁养护技术规程》(DB 50/231—2006)亦采用同样的分类方法。香港长大桥梁检查则分为运营安全检查、常规检查、深入检查和特殊检查。《美国国家桥梁检查标准》则将桥梁检查分为初始检查、常规检查、损害检查、深入检查和特殊检查,与我国的桥梁检查分类有一些不同。日本本四联络桥株式会社的《点检管理要领》则将长大桥梁检查分为巡回检查、基本检查、精密检查、异常时检查和临时检查。

对规范和手册中的检查分类和检查频率进行分析,可将大跨径悬索桥、吊杆拱桥和斜拉桥的检查划分为初始检查、经常检查、定期检查和特殊检查4大类,即在《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004)分类的基础上增加了初始检查。

初始检查作为大跨径悬索桥、吊杆拱桥和斜拉桥检查的一种类型,是其建成后、改造后或归属权变更时的第一次全面检测。初始检查有双重目的:首先,采集大跨径悬索桥和斜拉桥的基础状态数据,作为今后经常检查、定期检查、特殊检查的基准;其次,通过初始检查,可确定桥梁各构件的基础状况,确定存在潜在问题构件的病害及位置,并对今后养护中需要特别注意的状况进行说明。

经常检查频率一般要求为每月不少于一次,主要对桥面行车道范围内各种病害、障碍物和保护区域范围进行巡视,及时发现不安全因素。巡视除了对桥面系进行巡查外,还需要对结构的异常进行关注,及早发现结构的安全隐患。已有的桥梁事故表明,在事故发生之前结构一般会发生异常征兆,在索体系桥梁的巡视过程中,注意检查结构有无明显异常如缆索剧烈振动等,是保证桥梁始终处于安全状态的重要手段。

定期检查与美国的常规检查、日本的基本检查、香港的常规检查相对应,是对结构和桥面系的详细检查,要求检查时能够接近检查位置,检查时以目视为主、辅以仪器测试。由于很多大跨径悬索桥和斜拉桥都安装了健康监测系统,时刻监控着结构的变形、受力以及荷载信息。如何建立起健康监测系统与定期检查的关系,是桥梁养护十分关注的问题。实际上,健康监测系统与定期检查是相互补充、相互合作的关系,不能人为分离两者的关系。

特殊检查又分为专门检查和应急检查。其中在以下4种条件发生时要求进行专门检查:①定期的深入检查(每5年至少一次);②桥梁技术状况为四类、五类者,或者重要构件安全状况为四级、五级者;③拟通过加固手段提高荷载等级的桥梁;④定期检查中难以判明损坏原因及程度的桥梁。当桥梁遭受洪水、流冰、滑坡、地震、火灾、漂浮物或船舶撞击、交通事故、超重车通过、有害化学物污染、暴风雨、雷击、飞行物撞击、爆炸、人为破坏等原因造成桥梁受损时,应该立即组织应急检查。

1.2.2 桥梁索体系检测内容

与全桥检测的分类方法相同,运营期的桥梁索体检查包括经常检查、定期检查和特殊检查。

日常巡视针对桥梁索体系的主要内容是关注结构是否存在异常情况,尤其是缆索的异常振动。由于大跨径索体系桥梁容易发生缆索剧烈振动,而缆索的剧烈振动不一定要风力很大才会发生,有时很小的风力也可以导致某些斜拉索或吊索出现剧烈振动,经常性的剧烈振动将会导致疲劳破坏。

定期检测主要包括以下工作内容。

1) 悬索桥索体系

主缆检测内容主要包括:①主缆防护损坏;②主缆线形;③扶手绳及栏杆绳;④主缆腐蚀或索股损坏(脱皮、锈蚀、伤痕);⑤涂膜劣化。

索夹检测内容主要包括:①错位;②滑移;③面漆起皮;④索夹密封填料损坏;⑤裂纹和锈蚀。

锚杆检测内容主要包括:①掉皮;②锈蚀;③出现裂纹。

悬索桥吊索检测内容主要包括:①锈蚀、腐蚀(钢丝、锚头、螺栓、钢管护套等);②钢丝断丝;③渗水(吊索两端的锚固部位、冷铸锚头、横梁锚固构造、吊索套管、减振器等);④锚头损坏(松动、裂缝或破损);⑤橡胶老化变质(吊索端部及减振器);⑥掉漆、起皮;⑦防护套破损;⑧吊索的防护层破坏(裂纹、破损、老化和积水);⑨索力。

2) 斜拉桥索体系

斜拉桥斜拉索检测内容主要包括:①拉索锈蚀、断丝;②滑移变位;③涂层损坏;④护套内的材料老化变质;⑤锚固区损坏;⑥拉索线形异常;⑦索力。

斜拉索护套检测内容主要包括:①漆膜损坏;②护套裂缝;③护套锈蚀;④防护层破损;⑤护套上端浆液离析;⑥渗水。

锚具检测内容主要包括:①锚杯积水;②锚具内潮湿;③防锈油结块;④锚具锈蚀。

减振装置检测内容主要包括:①油漆脱落、裂缝、粉化;②结构裂缝;③螺栓变形或损坏;④漏油;⑤连接松动等。

3) 拱桥索体系

拱桥吊杆检测内容主要包括:①锈蚀(锚头、螺栓、钢管护套等);②断丝;③渗水(吊杆两端的锚固部位、锚头、横梁锚固构造、吊杆套管、减振器等);④锚头损坏;⑤橡胶老化变质(吊杆端部及减振器);⑥防护套损坏(吊杆端部出口处钢管护

套以及钢管与 PE 护套连接处);⑦吊杆的防护层破坏;⑧索力。

拱桥系杆及防护板检测内容主要包括:①锈蚀(锚头、防护罩、钢箱);②系杆外部涂层脱落;③系杆连接松动;④锚头、防护套损坏;⑤断丝;⑥混凝土裂缝(混凝土防护板、系杆锚固区等)。

1.3 桥梁及其索体系维修加固

1.3.1 桥梁维修加固工作

桥梁的养护维修加固工作按其性质、规模大小、技术难易程度可分为以下 4 类:

(1)小修保养工程。对桥梁各部分,包括设计规定的引桥、引道,及其各种设施进行预防性保养和修补其轻微损坏部分,使之经常保持完好状态。此项工作需经常进行。对一些特大型特殊桥梁,此工作每天都在轮回进行。

(2)中修工程。对桥梁各部分,包括设计规定的引桥、引道,及其各种设施的一般性自然磨损和局部损坏进行修理加固,以恢复原状。此项工作应定期按计划进行。

(3)大修工程。对桥梁各部分,包括设计规定的引桥、引道,及其各种设施的较大损坏进行周期性的综合修理,以求能全面恢复到原设计标准,或在原技术等级范围内进行局部改善和个别增建,以逐步提高其通行能力。

(4)改善工程。对桥梁各部分,包括设计规定的引桥、引道,及其各种设施因不适应交通量和载重需要而提高技术等级,或通过改善显著提高其通行能力的较大工程项目。因发生洪水、台风、滑坡、地震等自然灾害,交通事故和人为破坏等而引起的桥梁(包括设计规定的引桥引道)及其各种设施的损坏必须及时修复,尽快恢复通车。对不能及时修复的项目可列为专项工程办理。

1.3.2 悬索桥缆索系统的养护与维修

对于常规的悬索桥,缆索系统养护与维修主要包括:①主缆防护系统(包括缠丝和油漆防护等)损坏需要及时修复;②主缆出现锈蚀或断丝要仔细检查,并进行处理;③要保持主缆各索股受力均匀;④要求除湿设备工作正常。

1) 主缆

由于不同悬索桥采用的缆索及其防护系统有差异,难以制订一套标准的主缆养护与维修方案,但都重在保证其免受水分侵扰,保证其受力满足设计要求,力求

延长主缆的寿命。从目前来看,全世界范围内还没有更换千米级悬索桥主缆的先例,一般来说,设计过程中也没有考虑到主缆的更换,所以主缆养护的好坏直接决定了主缆寿命的长短,而主缆寿命的长短决定着悬索桥的服役寿命。

不同形式的主缆,有针对其自身特点的修复方法。比如对主缆缠丝的养护可采用圆钢丝缠丝,或采用S形钢丝缠丝。针对不同的悬索桥,需要根据桥梁主缆自身的特点,制订出一套完整有效的保养与维修方法,并在实践过程中不断改进。

2) 索夹

一般对索夹的重视程度不及主缆,然而索夹松弛甚至滑移将导致主缆防护的破坏和桥梁整体受力的变化。索夹松弛是表示其夹紧力降低,严重时将导致索夹滑移。现行《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004)规定,索夹的紧固螺栓应保持其设计受力状态,视其工作情况,每半年至两年定期紧固,若发现松动应及时紧固。

3) 主索鞍、散索鞍及主缆锚固装置

主索鞍、散索鞍及主缆锚固装置养护重点关注:①索鞍、锚点应保持清洁和干燥;②定期检查涂装,及时处理脱漆、锈蚀等病害;③锚固系统损坏应及时更换;④有除湿装置的应保证除湿装置正常工作。

相关的养护工作主要有:索鞍应经常清扫,防止尘土杂物堆积、积水(雪)及锈蚀;索鞍的辊轴或滑板应保持正常工作状态;有漏水、积水和脱漆、锈蚀现象存在时,需要及时处理。对于需要加注润滑油或防锈油的部件,应定期更换润滑油或防锈油,对于在检查过程中发现润滑油或防锈油失效的,应立即更换。索鞍的紧固螺栓应保持其原设计受力状态,使其保持正常工作状态,每半年至两年定期紧固,若发现松动应及时紧固。当索鞍出现偏移超过设计允许值时,应查明原因并根据分析评估作出相应处理。

4) 吊索

发现吊索锚头、叉耳、销子等油漆有损坏的地方,需要及时进行修补,有锈蚀的地方,应在除锈后补漆。吊杆的保护套、止水密封圈、防雨罩等应保持完好,若发现老化、开裂、破损要及时修补、更换;吊杆的减振装置要保持正常工作状态,发现异常或失效要及时检修。若因吊杆钢丝锈蚀或断丝而导致受力截面削弱严重时,或其锚具出现严重锈蚀或裂缝时,应更换吊索。

5) 其他辅助系统,如除湿装置等

应经常检查除湿装置自身的工作状况,保证其工作正常。有关除湿系统的具体养护与维修方法,应同设备供应商一同制订,使养护方法与设备本身相符合。对于安装有主缆除湿系统的悬索桥,应保证其除湿系统工作正常。

1.3.3 桥梁索杆的保养与维修

桥梁索杆是由高强钢丝、防护系统、锚固系统和减振系统等组成的。按照其空间位置和作用,可将其分为三个部分,即锚固区、自由段、减振装置。所谓自由段,是指桥梁索杆从梁端钢套管出口到塔端钢套筒出口之间的长度,是桥梁索杆处于自由状态的一段,也是人们从桥上可以直接看见的部分。锚固区是套筒出口以内至锚具之间的部分。减振装置包括橡胶圈减振器及其他各种阻尼器产品。

1) 桥梁索杆锚固区

桥梁索杆在其锚固附近是结构的薄弱环节。一方面水分容易在这些区域积存,另一方面,桥梁索杆在这些区域的隐蔽性给检查和维护带来很大困难。此外,钢丝在锚固附近的受力比其他区域更为复杂,更容易产生断丝等病害。无论是塔端锚头还是梁端锚头,都是桥梁至关重要的部件,所以在日常养护过程中,要密切关注这些部位,及时养护,保证其处于干燥状态,积极做好防腐工作。由于这些部位检查比较困难,尤其是设计时没有很好地考虑养护问题而没有预留一些适当的检查通道时,养护人员很难及时发现已经存在的问题。

锚固区示意图如图 1-1 所示,对于桥梁索杆锚固区的养护,主要有以下几个方面:①及时清除杂物,若有积水,则应及时排出并封堵水源;②锚板、锚头不得开裂,钢丝墩头无异常;③对锚具涂防护油或油漆进行防腐;④对护筒与护套进行防腐处理。

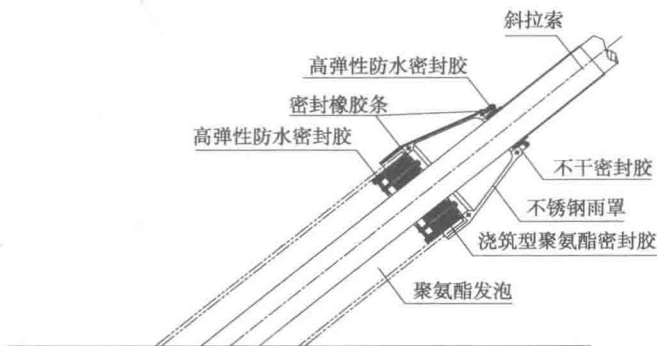


图 1-1 钢套筒内填充聚氨酯发泡材料

以上养护的目的均是保证锚固附近的桥梁索杆及锚固系统始终处于干燥清洁的环境中,避免其出现腐蚀病害。当产生病害后,一定要及时查明原因,针对原因采取合理有效措施。

2) 桥梁索杆护套

桥梁索杆的锈蚀主要是由于高强钢丝与周围介质发生电化学作用,产生氧化还原反应所致,一旦防护失效,空气中的氧气、二氧化碳及二氧化硫等还会不断溶解到水膜中去,促进原电池反应,加快桥梁索杆的锈蚀。组成桥梁索杆的主体构件是难以修复的,能够修理的仅仅是 PE 护套、橡胶防水圈、黏弹性减振圈和减振阻尼器。因此,桥梁索杆护套出现损坏应及时修复,防止水分侵入高强度钢丝导致钢丝锈蚀;若水分已经侵入桥梁索杆索体,则在修复之前先做吹干处理。

3) 桥梁索杆的振动控制

在风或风雨共同作用下,桥梁索杆可能出现有害的剧烈振动。目前,除了通过计算来尽量避免剧烈振动的发生外,通常采用一些空气动力措施或外加阻尼器来避免这些有害的振动。为了避免风雨激振,通常在桥梁索杆表面 PE 护套上压制凹坑来干扰雨水沿桥梁索杆的流动路径。此外,常常安装内置式或外置式阻尼器来避免桥梁索杆出现剧烈振动。

桥梁索杆的减振装置要保持正常工作状态,发现异常或失效要及时维修。另外桥梁索杆的减振器类型多样,有些可能本身并未出现任何故障,而减振效果差的原因可能是没有设置好,需要及时调整。

4) 索力调整

桥梁索杆的索力通常应该在设计规定的合理范围内,索力过大则容易出现疲劳问题,应力过低必然导致相邻拉索应力增加。此外,当索力偏离设计值时,加劲梁和索塔的受力亦将偏离原设计值。因此当桥梁索杆索力超出设计限值时,应该对索力进行调整。

5) 换索

钢丝锈蚀或断丝情况严重的应更换桥梁索杆,桥梁索杆断丝的原因可能是由锈蚀或者应力集中造成,或者由于钢丝疲劳断裂。而钢丝锈蚀时,同一根钢丝沿着长度方向锈蚀的程度是不同的,可能某个位置锈蚀比较严重而某些位置还没有锈蚀,这样锈蚀多的地方就会出现缩颈现象,产生应力集中,局部应力增大,很容易产生断丝现象。

由于桥梁索杆工作时处于高应力状态,无论是断丝还是锈蚀都是非常危险的。现行《城市桥梁养护技术规范》(CJJ 99—2003)提出当一根拉索内已断裂的钢丝面积超过拉索钢丝总面积的 2% 时,或钢丝锈蚀造成该拉索钢丝总面积损失超过 10% 时,必须换索。但是由于相关的数据没有坚实的研究依据,所以建议当出现锈蚀或断丝后,进行专门检查,无论是否达到规范限值,都应根据详细的检测数据进行评估,再决定是否换索。

第2章 缆索桥梁及其索体系

2.1 索体系桥梁及受力特点

索体系桥梁主要包括悬索桥、斜拉桥、吊杆拱桥以及相关的组合体系桥梁。本节对不同类索体系桥梁的主要组成及桥梁受力特点进行介绍。

2.1.1 悬索桥

悬索桥是指利用主缆和吊杆作为主梁的悬挂体系,主缆锚固主要有地锚式与自锚式两种形式。地锚式悬索桥是通过索塔悬挂并锚固于两岸或桥两端的缆索或钢链作为上部结构主要承重构件,将荷载作用传递到索塔和锚碇的桥梁。自锚式悬索桥的主缆拉力是直接传递给它的加劲梁来承受,垂直分力通过连杆支座传给桥台。加劲梁负担大,因此自锚式悬索桥的跨度不宜过大。由于地锚式悬索桥可以充分利用材料的强度,并具有用料省、自重轻的特点,因此悬索桥在各种体系桥梁中的跨越能力最大,跨径可以达到1000m以上,是大跨径和超大跨径桥梁的主要形式。悬索桥的主要缺点是刚度小,在荷载作用下容易产生较大的挠度和振动,需采取相应的措施。

1) 桥梁组成

悬索桥主要受力构件由悬索、索塔、锚碇、吊杆、桥面系等部分组成。如图2-1所示。

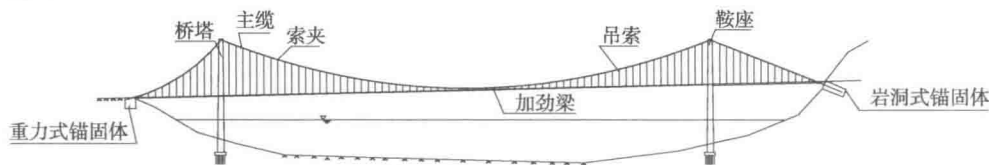


图 2-1 悬索桥示意图

(1) 主缆

悬索桥的主要承重构件是主缆或称为悬索,它主要承受拉力,一般用抗拉强度

高的钢材(如钢丝、钢缆等)制作。其缆索几何形状由力的平衡条件决定,一般接近抛物线。主缆通过塔顶的鞍座悬挂于主塔上并锚固于两端锚固体中,布置形式一般是采用每桥两根,平行布置于加劲梁两侧吊点之上。

(2) 索塔

索塔是支承主缆的主要构件,分担主缆所受的竖向荷载,并传递到下部的塔墩和基础。另外,在风荷载和地震荷载的作用下,还可对全桥的总体稳定提供安全保证。

按建筑材料分,桥塔有混凝土塔和钢塔,因混凝土价格较低,一般都采用混凝土桥塔。

按桥塔外形分,在横桥向一般有刚构式、桁架式和混合式三种结构形式。刚构式外观简洁明快,可用于钢桥塔或混凝土桥塔,桁架式和混合式由于交叉斜杆的施工对混凝土桥墩有较大困难,只能用于钢桥塔。

在顺桥向,按力学性质可分刚性塔、柔性塔和摇柱塔三种结构形式。刚性塔可做成单柱形或A字形,一般多用于多塔悬索桥中,可提高结构纵向刚度,减小纵向变位,从而减小梁内应力;柔性塔允许塔顶有较大的变位,是现代悬索桥中最常用的桥塔结构,一般为塔柱下端做成固结的单柱形式;摇柱塔为下端做成铰接的单柱形式,一般只用于跨径较小的悬索桥。

(3) 吊杆

吊杆是将加劲梁上的竖向荷载通过索夹传递到主缆的受力构件。其下端通过锚头与加劲梁两侧的吊点连接,上端通过索夹与主缆连接。立面布置上,传统的悬索桥都是竖直的,斜向吊杆是英国式悬索桥的一大特点。斜吊杆和竖直吊杆相比,索力较大,因此可以提高悬索桥整体振动时的结构阻尼。但多数人认为斜吊杆在抗疲劳强度方面不如竖直吊杆。

(4) 加劲梁

加劲梁的主要功能是提供桥面和防止桥面发生过大的挠曲变形和扭曲变形,它直接承担竖向活载,也是悬索桥承受风荷载和其他横向水平荷载的主要构件,所以,必须具有足够的抗扭刚度或自重以保持风荷载作用下的气动稳定性。加劲梁所承担的活载及本身的恒载通过吊杆和索夹传至主缆。加劲梁的变形从属于主缆,它的刚度对悬索桥的总体刚度贡献不大,因而梁高通常不必做得太大。

加劲梁一般都采用钢结构,混凝土结构由于自重太大,从耗材、造价、工期等方面考虑,当跨径大于200m的时候就不宜采用。钢加劲梁的截面形式主要有美国流派的钢桁梁和英国流派的扁平钢箱梁,钢箱梁的抗风性能较好,风的阻离系数仅为

桁架式的 $1/2 \sim 1/4$; 耗钢量也较少。但钢桁梁在双层桥面的适应性方面远较钢箱梁优越, 因此它适合于交通量较大的或公铁两用的悬索桥。

(5) 锚碇

锚碇即主缆的锚固体, 用于固定住主缆的端头, 防止其走动。锚碇又可分为重力式锚碇(或称锚台)和隧道式锚碇两种, 如图 2-1 所示。

重力式锚碇依靠锚固体的巨大自重来抵抗主缆的垂直分力, 水平分力则由锚固体与地基之间(包括侧壁)的摩阻力或嵌固阻力来抵抗, 从而实现对主缆的锚固。锚碇中预埋有锚碇架, 它是由钢锚杆和支撑架构成, 主缆束股是通过锚头与锚杆连接, 再由锚杆通过支撑架分散至整个混凝土锚体。隧道式锚碇是先在两岸天然完整坚固的岩体中开凿隧道, 将锚碇架置于其中后, 用混凝土浇筑而成, 这是利用岩体强度对混凝土锚体形成嵌固作用, 达到锚固主缆的目的, 因而其锚碇混凝土用量较重力式锚碇大为节省, 经济性能更为显著。但迄今为止, 大部分悬索桥都由于缺乏坚固的山体岩壁可利用, 而一般采用重力式锚碇。

(6) 鞍座

鞍座分为塔顶鞍座(亦称主鞍座)和散索鞍座。

塔顶鞍座位于主缆和塔顶之间, 其上座设有索槽用以安放主缆。刚性桥塔上的主鞍座, 一般在上座下面设一排辊轴, 用来调整施工中主缆在塔顶两侧的水平分力使之接近平衡。辊轴下面设下座底板。柔性塔和摇柱塔上的主鞍座仅设上座, 它将通过螺栓与塔固定。

散索鞍座是主缆进入锚碇之前的最后一个支承构件。置于锚碇的前墙处, 起着支承转向和分散大缆束股使之便于锚固的作用。与塔顶主鞍座不同的是, 散索鞍座在主缆因活载作用或温度变化而产生长度变化时, 其本身能够随主缆同步移动, 以调节主缆的长度变化。其结构形式上又有摇柱式和滑移式两种基本类型。散索鞍座现今一般也是兼用铸焊的方法进行制造, 即鞍槽部分采用铸钢件, 其他部分用厚钢板焊接。

2) 受力体系

自锚式悬索桥的上部结构传力路径为: 桥面重量、车辆荷载等竖向荷载通过吊杆传至主缆, 主缆承受拉力, 而主缆锚固在梁端, 将水平力传递给主梁。

加劲梁直接承受桥面荷载, 防止桥面发生过大的挠曲变形和扭曲变形。

吊索将活载和加劲梁(包括桥面系)的恒载通过索夹传递到主缆。它的上端与索夹相连, 下端与加劲梁相连。

索夹位于每根吊索和主缆的连接节点上, 它是主缆和吊索的实际连接件。索夹以套箍的形式紧箍在主缆上, 它的主缆上夹紧后产生一定的摩阻力来抵抗