

浅谈 Akashi Kaikyo 桥的监控体会

林奕辰 译

摘 要:本文介绍了对 Akashi Kaikyo 桥的主缆防腐和抗振性的监控,以及由此得出的经验。

关键词:Akashi kaikyo 桥 监控 防腐 振动 GPS 监控系统

一、总 述

通过对超大跨度 Akashi Kaikyo 悬索桥进行监控和维护,获得了一些新的技术信息。最近新开发了一种干燥空气注入系统,用于防止主缆的腐蚀,该系统可以很好的将索束内的相对湿度保护在足够低的水平。为了抑制吊索发生意外的风振,采用空气动力抑制措施,并且该措施的性能已经通过台风的考验。使用全球定位系统(GPS)来存贮和监控梁的位移数据,分析梁的位移、风速和温度的关系,并比较桥梁的实际性能和设计性能。通过对结果的分析,有利于更精确评价桥梁的可靠性。期望这些技术能对 Akashi Kaikyo 桥可靠性起一定作用。

引 言

Akashi Kaikyo 桥于 1998 年 4 月 5 日通车,是一座 3 跨 2 绞链悬索桥,中跨最大跨度为 1.991m (图 1)。此桥是 Honshu Shikoku 桥梁项目其中一座,此项目为日本公路主干网的一部分。

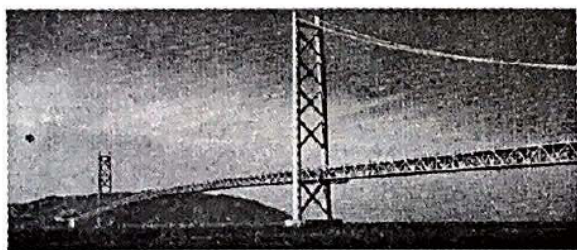


图 1 Akashi Kaikyo 桥

因为 Akashi Kaikyo 桥横越位于 Seto 内陆海中大洲与 Awaji 岛的海峡,所以桥梁维护的主要问题是防止在高盐份环境下的腐蚀,因而开发一

种新的主缆防腐系统:干燥空气注入系统,该系统相对于传统的防腐系统有更高的可靠性。通过检查索束内相对湿度也证明了此系统的有效性。

Akashi Kaikyo 设计可以承受的桥面风速为 60m/s,距地震中心 150km 的 Richter 地震烈度等级为 8.5 度。这样,在恶劣的条件下检验桥梁的设计就非常有必要。记录和分析在大型台风下梁的位移,并与设计桥梁时的假设相对比。另外还开发了增加吊索空气动力稳定性的方法,它的有效性也在强风中得到了验证,监测时使用的仪器为 GPS。

本文介绍了从对 Akashi Kaikyo 桥超过 2 年的监测中获得的一些经验。

主缆的防腐

为了检验 Akashi Kaikyo 桥缆索的防腐系统,同时对 Honshu Shikoku 桥梁项目中现有的不同桥梁进行调查,借此对传统的防腐系统进行评价。

通常,束状索的防水方法是:用钢丝将索捆在一起,然后刷上保护漆。然而,无论是通过肉眼,还是使用国际方法来检查 Honshu Shikoku 桥梁的缆索,传统防腐方法都不能提供充分的保护,在悬索桥的捆扎钢丝和表层的缆索上都发现了腐蚀现象。

经过诊断发现了造成腐蚀的原因,并且进行了很多试验,希望提高保护材料和涂层的质量。但这些努力的结果显示:当水分进入索束内时,传统的防腐措施仍然无法对缆索提供充分的保护 [1,2,3]。

长期保护缆索束不受水份侵蚀很困难,在这

种情况下,只能改善缆索束的内环境。经过研究,最后决定使用干燥空气注入系统,也就是安装气密管道,然后向缆索束内吹入空气。

对几个干燥空气注入系统的试验结果进行研究后,决定对 Akashi Kaikyo 桥使用新的防腐保护系统。为了提高气密性和防水性,把传统的钢丝捆扎换成了橡胶。图 2、3、4 展示了 Akashi Kaikyo 桥的干燥空气注入系统的布置图。

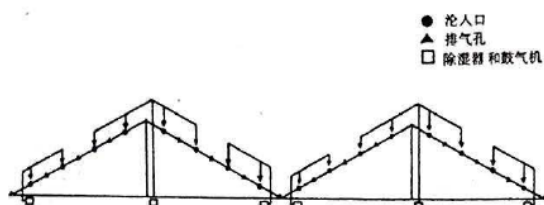


图2 干燥空气注入系统的布置

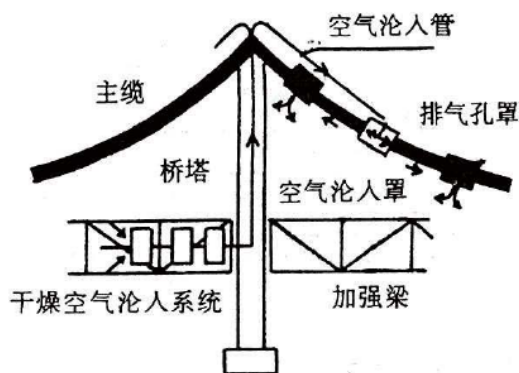


图3 干燥空气注入系统草图

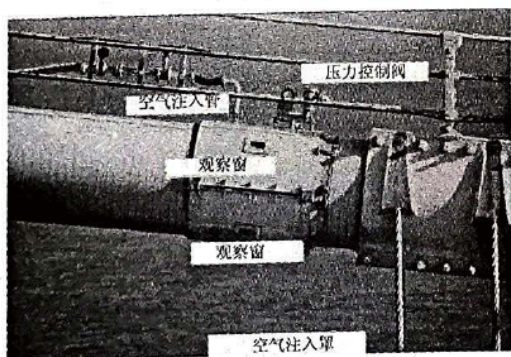


图4 索上的空气注入罩

此外,还决定对现有的 Honshu Shikoku 桥梁及日本其它一些桥梁也采用相同的防腐措施。

图 5 显示了在 Akashi Kaikyo 桥的主缆安装此防腐系统后,超过 2 年的时间内,缆索束内相对湿度的变化情况。这些数据表明,相对湿度下降了近 40%,因此证明此防腐保护系统是有效的,

因为系统的长期性能与可靠性是很重要的,需要继续通过观察窗监测相对湿度和主缆表面。

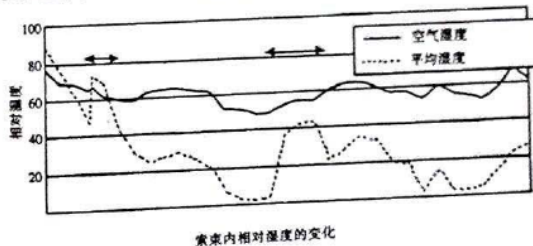


图5 索束内相对湿度的变化

吊索的空气动力稳定性

Akashi Kaikyo 桥使用的是带 PE 保护层的预制平行钢丝索,每块桥板上有两根。

最初,在每对缆索间安装有连接式高弹性橡胶阻尼器,它们用于抑制因涡流产生的振动,它们的振幅有限,并且工作在相对低的风速下。尽管阻尼器对涡流产生的振动有抑制效果,但是在台风引起的大振幅的振动下,一些阻尼器就会断裂,如图 6 所示。

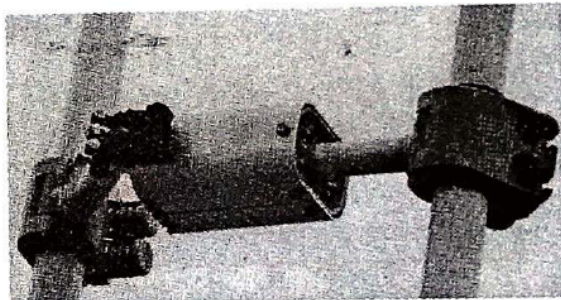


图6 装在吊索上已损坏的阻尼装置

这些振动被认为是由尾流引起的,在受力缆索上可以观察到这种振动,缆索的间距是直径的 10 倍以上。在桥梁的施工阶段,认为吊绳几乎不可能发生尾流振动,因为它们的间距仅为直径的 9 倍,比受力缆索的更小。

进行了几次风洞试验后发现了振动的原因:上风处缆索的尾流造成了下风处缆索的振动,如图 7 所示,尽管它们的中心距小于 10 倍直径 [4]。通过对风洞试验结果进行分析,利用空气动力学来抑制尾流振动,最后采用直径为 10mm 的绳索螺旋型的缠绕在吊索上。这种方法可以同时抑制尾流振动和涡流振动。最新发明的机械装置可以同时在一对吊索上缠绕绳索,见图 8。

采用了这种方法后,尽管台风两次袭击这座桥,也没有发现明显的尾流振动或涡流振动。

采用 GPS 的监测系统

因为 Akashi Kaikyo 桥采用了全新的抗风设计和抗振设计,所以有必要对设计的假设进行核实,包括在强风和地震中适当和变量。其它一些结构的基本性质如:在标准状态下,温度变化和其它条件对桥梁性能的影响。监控系统就是用来检查这些问题的。在观察期间,全球定位系统(GPS)用于测量梁和塔的变形。如图 9 所示,有 3 个位置安装了 GPS:

- 1A 锚具的上表面
- 2P 塔顶西面索鞍盖板的上表面
- 中跨接近中部处加强梁的西侧

图 10 显示了中跨梁上 GPS 感应器的安装位置。图 11 显示了中跨梁在达到最大水平位移时前后 10 分钟内位移的历史记录。

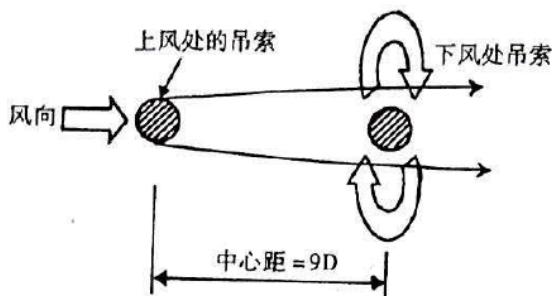


图 7

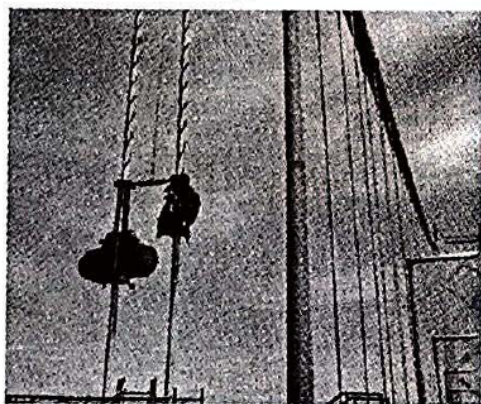


图 8 绳索缠绕在吊索上

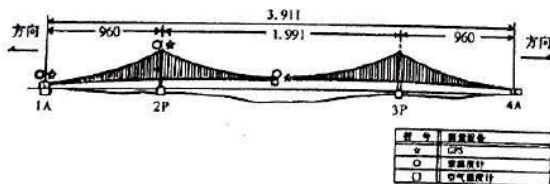


图 9 GPS 和湿度计的布置

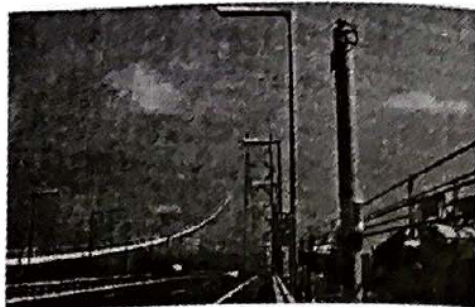


图 10 装在梁上以 GPS 感应装置

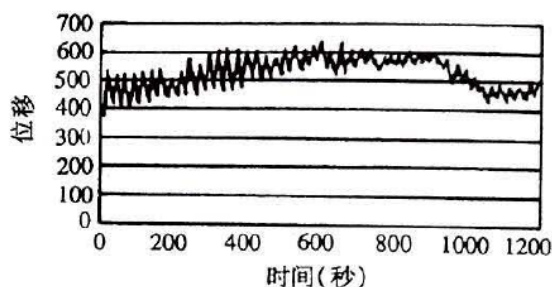
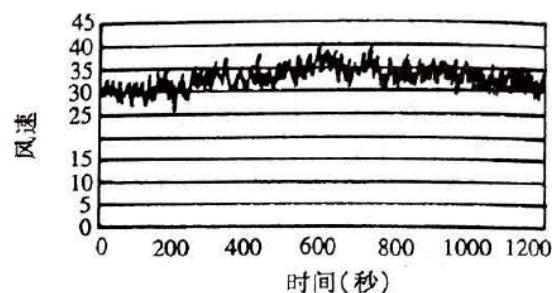
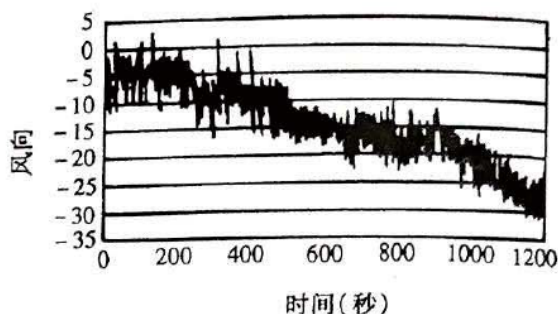


图 11 中部梁以横向位移

测量到的平均水平位移值为 5.17m,在最大风速下的振幅为 0.78m。而计算得到的 Akashi Kaikyo 桥的抗风设计标准为水平位移值 5.41m,振幅 2.56m。尽管平均水平位移值很好的符合了设计标准,但是振幅只有计算值的 1/3。

造成计算值和实测值不同的原因是阵风反应分析和自然风的观测数据的采用。从这些研究中发现:在低频率区域,自然风空间相关系数的实际值比抗风设计标准值小。

图 12 显示了 2P 塔顶悬索的温度与梁中心垂

直位移的关系,测量仪器为GPS,测量时间超过6个月。这里考虑到大气温度对2P塔悬索温度的影响,图表组合了每天凌晨4:00的记录(a)和每间隔10分钟的记录(b)。

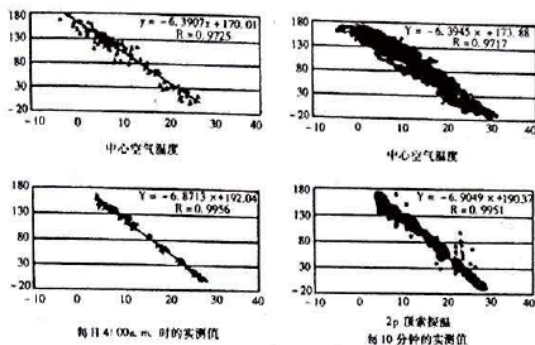


图12 梁温度与竖直位移的关系

主要的特征参数如下[6]:

—梁的中心垂直位移值与2P塔顶的关系是-6.87cm/度,根据最近数据计算的值为-6.7cm/度,两者很接近。

—温度与中心垂直位移的相关系数为

0.996,相关性很好。

可以通过测量缆索温度及用GPS测量中心垂直位移值来诊断悬索桥的异常情况,然后通过回归线考查位移。在强风或地震后,这些值的审查也可以作为诊断悬索桥的异常情况的一种方法。

结 论

以下是一些从监控Akashi Kaikyo桥中得到的经验:

—经过超过1年的时间对主缆的湿度进行观察,证实干燥空气注入系统有效地控制了目标的相对湿度。

—在台风和强风下,将绳索缠绕在吊索上的方法有效的抑制了尾流振动和涡旋振动。

—已经证明:使用GPS监控系统,通过对比观测值与分析值来诊断悬索桥变形情况是可行的。

HVM 信息

中国—东盟工业职业教育培训广西子项目成功实施 海威姆公司46名学员喜获证书

中国—东盟工业职业教育培训广西子项目结业典礼于2002年5月31日在柳州饭店会议礼堂举行。柳州海威姆建筑机械有限公司副总经理熊武及19名员工应邀参加了典礼。

在典礼上,熊副总经理代表公司向培训项目办公室赠送了锦旗。公司总经理助理、经营部部长方华代表广西425名学员讲话,向全体教员、工作人员表达了浓浓的谢意。公司企业管理部部长鼓梅丽代表公司学员登台领取了证书。此次,公司共有46名员工获得由欧洲联盟欧洲委员会、中国对外贸易经济合作部、中国—东盟工业职业教育培训项目办公室联合签发的培训证书。

中国—东盟工业职业教育培训广西子项目于2001年6月启动,10月下旬开始正式培训,到今年5月中旬结束,共开展了人力资源、生产、质量、物流和销售5个子项目,举办了17个培训班,10多场不同主题的研讨会,共12家职业技术教育学校和32家中欧合资企业及相关企业参与了培训,取得了丰硕的成果。

欧盟驻华使团一等秘书白小川、中国—东盟工业职业教育培训项目办公室欧方副主任艾念慈、广西区党委组织部副部长刘延刚、广西区劳动厅副厅长冯振年、柳州副市长陈向群出席了结业典礼。(黄臻)