

现代桥梁钢结构的完整性设计

范文理

(西南交通大学,四川 成都 610031)

摘要:国内外所发生的多起桥梁钢结构破坏事故在引起设计者对焊接结构损伤、损伤扩展以及结构系统失效过程关注的同时,也引发了人们对如何保证桥梁钢结构系统完整性的思考。通过对桥梁钢结构的完整性设计目标、损伤及损伤容限、损伤的表现等进行分析,提出了钢结构完整性设计的理念,并提出了钢结构设计的要点,分析认为建立材料—工艺—细节—损伤为控制方式的完整性设计原则体现了焊接结构带有损伤但适合使用的理念。

关键词:桥梁;钢结构;完整性设计;损伤;损伤容限

中图分类号:TU391;TG40

文献标识码:C

文章编号:1001-2303(2009)10-0011-03

Design integrity of steel bridge construction

FAN Wen-li

(Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract:In this paper, the damage of welding construction, expansion of damage, and the failure process of structure unit are focused with more accidents of damages on steel bridge structures in home and abroad. Simultaneously how to ensure the integrity of steel bridge construction is considered. With analyzing the design integrity, damage and damage allowance, damage characteristics, this paper provides the ideas of design integrity for steel bridge construction, and the main points of design of steel bridge structure, considers to establish the control methods of design integrity, including material, process, damage, and the welding structure of steel bridge is capable of use with damage allowance.

Key words: bridges; steel structure; the design of integrity; injury; damage tolerance

1 钢结构完整性设计理念

桥梁是为满足交通功能的建筑物。现代桥梁钢结构由结构钢加工单元经焊(栓)连接组成为复杂的受力系统,有明确的承载安全和服役耐久性要求。虽然设计者依据相关设计规范按满足强度、刚度、稳定性为承载力目标进行设计(甚至人为增大安全系数),但并不能避免桥梁结构在服役期内发生损坏。究其原因,结构的安全与耐久并不能简单归结为承载力不足(往往强度富裕甚多)。与多数钢结构相似,随着焊接技术的广泛使用,20世纪以来,国外发生的多起桥梁钢结构破坏事故均由于局部损伤扩展所致。由于难以发现和修复,最短服役寿命仅10余年,如韩国圣水桥、比利时 vierendeel 桥、澳大利亚

kigs 桥等。国内桥梁钢结构因损伤导致局部破坏的实例近几年也时有发生,结构损伤构成了对桥梁安全与耐久最大的威胁。在引起设计者对焊接结构损伤、损伤扩展以及结构系统失效过程关注的同时,也引发了人们对如何保证桥梁钢结构系统完整性的思考。目前国际焊接学会(IIW)推出的建立在保证焊接结构完整性和可用性基础上的“合于使用评定指南”(Fitness for Purpose)以及国际公认的英国中央电力局所提“带缺陷焊接结构完整性评定方法”(CEGBR6-2000)值得设计借鉴和参考。完整性设计涉及的主要内容一方面考虑了传统的强度和刚度要求,另一方面又强调了关联耐久的损伤和断裂,并要求从两方面同时保证结构的使用目标,具有系统性、整体性和综合性的特点。

1.1 桥梁钢结构的完整性设计目标

我国桥梁钢结构的设计使用年限为100年,与

收稿日期:2009-09-01

作者简介:范文理(1945—),男,四川成都人,教授,硕士,主要从事桥梁钢结构的疲劳与稳定、连接、腐蚀与防腐的研究工作。

国际标准(BS5400, EURO CODE)基本一致。完整性设计的目标是确保结构在使用年限内的可靠与安全。桥梁钢结构的完整性设计由荷载、材料性能、结构细节构造、制造工艺、安装方法、使用环境及维护方式等多种因素所确定。设计除对结构、构件连接及构造细节按常规考虑强度、刚度要求外,尚需对损伤与损伤容限、断裂与抗断裂作出评定。

1.2 钢结构损伤及损伤容限

钢结构从材料加工过程到服役期不可避免的会在内部和表面形成和发生微小缺陷,在一定外部因素(荷载、温度、腐蚀等)作用下,这些缺陷不断扩展与合并形成宏观裂纹,导致材料和结构力学性能劣化。对桥梁钢结构而言,完整性和损伤是相对应的,损伤程度将会对结构的完整性带来影响,损伤极限则是结构的失效。而损伤容限是指钢结构在规定的使用周期内抵抗由缺陷、裂纹或其他损伤而导致破坏的能力。损伤容限概念的使用是承认钢结构在使用前存在有初始缺陷,但可通过结构完整性设计方法评判带缺陷或损伤的钢结构在服役期限内的安全性。

2 桥梁钢结构损伤的主要表现

随着焊接技术和高强度材料在桥梁钢结构上的广泛使用,工艺损伤和材料对损伤的敏感性已成为研究者关注的重点。对广泛采用的碳素结构钢和低合金强度钢,损伤并不能改变其材料固有的基本力学性能,但却明显改变了破坏形态。因缺口效应使弹塑性材料呈现脆性破坏的形式,同时表现在低能量破坏,尽管名义应力水平不高,危险性依然很大。桥梁钢结构的损伤和发展在材料、工艺和服役过程中均有表现:

(1)材料损伤主要是指母材在冶金和轧制过程中带来的缺陷,如非金属夹杂物。当其与焊接热过程关联时,可能会引发层状撕裂,焊接接头设计需注意对母材 Z 向性能的要求和焊缝类型的选择。

(2)焊接接头处由于金属再结晶过程使热影响区(HAZ)的母材强度增高、塑性韧性下降,力学性能劣化。设计应注意因焊缝密集分布和焊缝尺寸偏大时对母材损伤的负面影响。

(3)由焊接工艺过程在焊接区域内形成的焊接缺欠(裂纹、夹渣、未熔合、咬边)属于损伤。它特别容易发生在焊接接近度差的构造细节处,它们往往是疲劳裂纹的起源。结构中的短焊缝因缺欠较多,常会

导致疲劳裂纹和结构短寿(钢管拱带肋板节点就属于该类低寿命细节)。

(4)不良构造细节带来的几何应力集中区是钢结构设计中引发损伤最多却往往被忽视的地方。日本钢结构协会(JSSC)统计表明,桥梁钢结构因为细节设计不良(贯穿板、镶嵌、隔板等)占焊接裂纹发生总数的 47%,加工工艺(焊接顺序,间隙控制,预热不当等)占 31%,显然,细节设计是控制损伤和保证结构完整性的关键。

(5)桥梁服役过程会使原有的损伤不断扩展,当处在腐蚀环境时损伤会加速扩展,几何应力集中叠加因缺口损伤的应力集中,在交变荷载作用下使早期损伤很快从无害演变为有害,导致疲劳裂纹扩展,直接威胁结构安全。

3 焊接结构的完整性设计

焊接结构引入损伤的概念后,材料、连接、结构细节和工艺过程不再是完美无缺。当结构局部发生损伤会不断扩展,由于损伤多发生在应力集中处,细节构造的处理不可忽视。经典结构力学、材料力学的分析方法不能解决损伤问题,以名义应力为基准的简单安全系数也无法评定结构的安全。显然,建立材料—工艺—细节—损伤为控制方式的完整性设计原则体现了焊接结构带有损伤但适合使用的理念。

3.1 材料—工艺—细节—损伤的控制方式

(1)控制材料及焊接接头的韧性和强度的合理配合。减少设计和工艺对结构的硬伤,注重焊接接头焊后处理工艺(焊后修磨及锤击工艺)。

(2)焊接接头区的微观组织、力学性能会发生改变,焊接缺陷导致损伤,不能仅依靠提高母材的质量等级来解决断裂问题。

(3)减小焊缝数量和焊缝尺寸,选择合理的焊接材料与母材组配方式(低组配的使用)。

(4)强化细节决定成败的观点,重视不良焊接细节对桥梁结构安全和耐久性所带来的影响。

(5)由于腐蚀可引发应力腐蚀,因而防腐蚀不再是装饰,而是保证结构安全的需要。在量化腐蚀程度与承载力和失效寿命的基础上,桥梁钢结构防腐蚀设计应有明确的使用和维修周期。同时注意结构细节对腐蚀和防腐工艺的影响。

3.2 焊接结构完整性设计要点

桥梁钢结构中焊接接头型式因结构受力需要而异,由于接头微观组织的不均匀性

