

布拉扎维大桥：拉索的损坏及更新

Dietrich L.Hommel、Michaei H.Faber

一、引言

布拉扎维大桥是阿根廷公路铁路基础设施项目提供给12号国道跨越Parana河流的两条支流Parana de Las和Parana Guazu的通道，位于Zaratz市边的河流三角洲的西北就，这两座大桥由跨度为110米330米110米的拉索钢梁主桥及一个总长约16km的用于公路和铁路运输的混凝土高架引桥组成。

这两座大桥在1972~1977年期间建成，是建立在一个由Jomt Venture Techint-Albamo提供的可选择性竞标方案基础上的。1977年公路运输通车，1978年铁路建成通车。

自两座大桥的开通，交通流量和交通方式得到了改变。这归因于商业经济不断发展造就运输的需要。自阿根廷加入南美商业联盟到1991年，12号国道一直是基础建设的重要部分，而大桥的工作状况又是最重要的一件事。

在1996年11月20日，穿过Parana Guazu大桥的7C号拉索断裂，拉索断裂处位于桥平面索近索底部索座处。拉索被从顶部锚固中移出平放在桥面上，可以看出它所有的127根 $\Phi 7$ 钢丝在离底部索座200mm处断裂，同时在钢丝断裂处有严重腐蚀和疲劳裂痕。

作为一个紧急事件，大桥在1996年11月25日关闭，由阿根廷国家高速公路权力机构任命AlbanvDyCASAFreysinnet(ADF)联合机构立即用Fressinet公司的单股类型拉索替换7C拉索。

二、桥的评估和修复更新的方法

对原始结构的设计和评估在正常情况下是通过实验标准和原理提供。这是因为这些标准和原理是经过细致的论证和校准以确保在大多通常建筑结构在正常情况下既经济又足够安全。

对从比例、概念、材料和条件等上讲是唯一的结构设计和评估，标准和原理不能期望产生在经济和安全上一致的满意的结构。这是因为通常这样的结构实验是建立在论证和校准一个特定的设计基础上的，这个设计基础可以理解为一个特定的结构设计和评估而特定的实验准则。

1、修复更新设计基础

布拉扎维大桥所涉及到的拉索损坏情况是独特的，现存的准则和原理都不适合我们用于更新设计和安全评估的依据。为了确保大桥有效的修复到一种可以接受的安全使用状态，甚至能提高交通运载能力，特定为此桥的类型，实测状况以及将来所期望的用途校准一个修复根据是必要的。

为了确保这种独特修复设计依据同通常可接受的设计基础如欧洲标准、ISO标准和AAWTHO标准一致。这种修复性设计基础的安全形式就是著名的载荷与抗载荷因素设计(LRFD)。

通常对安全因素和组合载荷因素，校正的基础是应用现代可靠性方法。这与在参考文献1中所说的欧洲标准和ISO标准所提的原理是一致的。

2、修复更新设计基础的现代化

修复设计基础被证明在下列情况改变时要修改：

- 设想被认为是过时和未来的公路铁路运输
- 被损坏索的材料实验结果
- 索受力的测量
- 被损坏索的受力观察及更换索

古语“知识积累”行动是那些评估期间不断的变化和为适应这些变化特定设计的修复更新设计基础提供的那些行动。

布拉扎维大桥修复更新的设计基础源于修复桥时在不同阶段所需的相关载荷和材料的信息，在下面的章节将被提到。

Dietrich L.Hommel 丹麦 扎拉特—布拉扎维大桥项目经理
Michaei H.Faber 丹麦 结构可靠性主任工程师

三、公路和铁路载荷

概率模式在铁路和公路载荷对桥的作用中已被阐述。考虑到公路载荷模式基础是吸收了Great Belt East大桥的设计基础而发展并被论证的理论结构,如参考书目2中所述。铁路载荷模式也已经在发展用于Great Bolt West大桥的设计模式基础中得到论证,参看参考书目3。

公路载荷模式在通过对Zarat-Brazo大桥交通运行观察的基础上已经被校正并合理延伸,一些欧洲的交通经验已经在必要时可以当作增补用。

铁路模式是基于被认为是由DNV提供的有效的关于实际交通和交通约束的信息。

运用概率模式和一些挑选出来的载荷作用影响线(包括拉索受力、公路梁的载荷影响、塔的受力作用),一年内最大负载作用的统计分布就已经决定了。通过定义载荷的性质为98%是这样的分布,一个相当等价分布载荷(WUDL)就产生了,它跟实际的载荷所产生的载荷作用是一样的。

基于同样的安全需求,如在参考文献中建议的欧洲标准和ISO标准。在永久且变化的载荷与汽车和卡车载荷的复合作用下所需的安全要素,已经由概率原理产生。

四、条件评估

估算一根平行钢索所受的力时,确定索中钢丝断裂的数目是必要的。断裂钢丝的数目可以通过UT检测估算出。但UT检测法不可能把每一根断裂的钢丝都检测出来,而且也可能把完好无损的钢丝误检为断裂的。为了估算这种检查的可靠性,很有必要决定检测钢丝断裂的概率和把一个未受损的钢丝测成断裂的概率。

五、斜拉索负载能力的评估

斜拉索抗载安全系数从时间概率模式中平行钢索受变化的力使其产生疲劳破坏中得到。模式结合所有有效信息认为钢索物质特性是通过在极限应力和疲劳载荷实验中获取的。通过7C号索和其它两根用于桥的拉索的超声波实验与极限应力实验,产生了对当前安全评估最有必要的数据。

索受力安全系数模式中允许它的安全系数与当前考虑的拉索在预期工作寿命中的安全系数不一致,此外安全系数是针对单根的拉索而定的,明确考虑了每根拉索的损坏条件和载荷条件。

选用这个模式,可能产生一个桥在它的临时期间内(可靠期间)的安全系数,该期间和正常使用期比起来要小,而且模式也能产生在拉索更新设计中索的安全系数。

剩余寿命的计算是建立在参考书目4中所提供的方法基础上的。计算剩余寿命的第一步就是估算单根钢丝的寿命分布,循环周期数和一根钢丝的失效角度 Δs 是由Weibull分布给出的。

$$F_T(t, \Delta s) = 1 - \exp \left\{ - \left[\frac{\Delta s}{r_c} \right]^a \left[\frac{t}{K} \right]^m \right\}, \text{ 这里}$$

的 a 、 m 、 k 和 c 是未知参数, n 是在不同特性下实验抽样的钢丝数目, A_0 是钢丝横截面面积, 参数 m 和 k 也是由 $t = k \Delta s^{-m}$ 给定的SN曲线中的参数。

一个有无穷数量钢丝、大的平行钢拉索被考虑到。尽管钢丝的数目可假想成无穷多,但对拉索束讲有一个确定的钢丝数通常才是有效的。钢丝在一定的平均应力和应力范围作用下的确良失效时间被确认为独立分布,同样地,最初在索上的载荷可以小到足以使钢索不受损坏。

在使用期间,钢丝一根接一根断裂是疲劳损害积累的结果。在这个系统不同阶段疲劳时间最短的首先断裂,当一根钢丝断裂后立即有一个载荷的重新分布,在应力分布期间并没有动态影响,单根钢丝剩余的静应力不受积累的疲劳破坏影响。结果可以认为一个给定的钢丝静应力与它的疲劳载荷能力没有关系。

腐蚀的影响在决定一套材料(明确地说是受腐蚀的钢丝)参数时被考虑到。另外,腐蚀会使认为参数不变的材料处的钢丝长度会变小。因此,由 n (不同材料元素占的比例数)确定的 r_c 决定于钢丝是否受到腐蚀。

注:本文由刘兴佳译自98日本神户IABSE国际会议论文集,陈云翔校。