

# 预应力混凝土 T 形梁桥横向振幅行车安全限值分析

周智辉, 曾庆元

(中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙, 410075)

**摘要:** 运用列车脱轨能量随机分析理论计算 5 座横向振幅超限桥梁列车走行安全性。基于脱轨分析理论, 提出新的铁路桥梁横向振幅行车安全限值分析方法。具体步骤为: 建立考虑一定误差系数的预防脱轨条件, 确定桥梁横向刚度行车安全判别参数, 确定预防脱轨的临界梁墩系统, 计算梁墩系统横向振幅行车安全限值。运用此方法, 计算提速线预应力混凝土 T 形梁桥横向振幅行车安全限值。研究表明: 现有的桥梁横向振幅行车安全限值过于严格; 提速线跨度为 32 m 和 24 m 的预应力混凝土 T 形梁桥横向振幅行车安全限值分别为  $L/3$  980 和  $L/4$  411 ( $L$  为桥梁跨度); 取  $L/4$  500 作为提速线预应力混凝土 T 形梁桥横向振幅行车安全限值建议值。

**关键词:** 横向振幅; 限值; 预防脱轨; 能量随机分析; 预应力混凝土梁

中图分类号: U442

文献标识码: A

文章编号: 1672-7207(2009)04-1072-07

## Limit value of lateral vibration amplitude for traffic safety of T-shape prestressed concrete bridge

ZHOU Zhi-hui, ZENG Qing-yuan

(School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** Based on the theory of energy random analysis for train derailment, the safety of running trains on five bridges whose lateral vibration amplitudes surpassed limit values given by the code for rating existing railway bridges was analyzed. A new method for establishing the limit value of bridge lateral vibration amplitude for traffic safety was proposed on the basis of the analysis theory for train derailment. The detailed steps of the method were as follows: Condition with an error coefficient for derailment prevention was presented, the index of bridge lateral rigidity for traffic safety and the critical system of beam and pier for derailment prevention were determined, and the limit value of bridge lateral vibration amplitude for traffic safety for the system of beam and pier was calculated. With the method, the limit value of lateral vibration amplitude for traffic safety for T-shape prestressed concrete bridge was calculated. The results show that the existing limit value of bridge lateral vibration amplitude for traffic safety is too conservative. The limit value of lateral vibration amplitude for traffic safety of 32 m and 24 m long T-shape prestressed concrete bridge are determined as  $L/3$  980 and  $L/4$  411 respectively ( $L$  is bridge span). Finally,  $L/4$  500 is determined as the recommended limit value of lateral amplitude for traffic safety for T-shape prestressed concrete bridge on speed-raised line.

**Key words:** lateral vibration amplitude; limit value; derailment prevention; energy random analysis; prestressed concrete beam

我国自列车提速以来,许多桥梁横向振幅超过《铁路桥梁检定规范》(简称《桥检规》,2004年)规定的行

车安全限值。针对超限桥梁,采取桥梁加固措施,需要巨额的加固经费,采取限速过桥措施又制约了铁路

收稿日期: 2008-10-15; 修回日期: 2009-01-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB714706); 国家自然科学基金资助项目(50678176, 50078006); 中南大学博士后基金资助项目(2008)

通信作者: 周智辉(1976-),男,湖南攸县人,博士,副教授,从事车桥(轨)振动及列车脱轨研究;电话:0731-82656645;E-mail: zzhyy@mail.csu.edu.cn

运能的发挥,影响了铁路提速战略实施。沈阳铁路局对京通线7座桥梁的22孔预应力混凝土梁进行了振动测试,测试车速为13~67 km/h。经测试发现有18孔梁跨中横向振幅超过《桥检规》规定的行车安全限值<sup>[1-2]</sup>。这些桥梁在横向振幅超限状态下长期运营,近30 a来从未发生列车脱轨事故。因此,《桥检规》行车安全限值是否过于严格有待研究。制定能够反映桥上列车走行安全性的行车安全限值,对充分发挥既有桥梁运能和保证列车安全运行意义重大。国内外研究者对铁路桥梁行车安全指标进行了大量研究。前苏联根据机车车辆运营标准,制定了桥梁横向自振周期限值<sup>[3]</sup>。顾萍<sup>[4]</sup>利用大量桥梁横向振幅及对应脱轨系数的实测值与理论计算值,由脱轨系数低于0.8的控制标准确定了典型类型桥梁的横向振幅行车安全限值。曹雪琴等<sup>[5-6]</sup>对大量桥墩墩顶横向振幅及横向自振频率的实测值进行统计分析,得出常见桥墩墩顶横向振幅及横向自振频率的通常值。我国新的《桥检规》(2004年)就是根据上述研究成果分别制定了桥跨结构横向振幅行车安全限值与桥墩横向振幅及横向自振频率的通常值。李运生<sup>[7]</sup>提出了反映桥墩横向振动特性的综合指标,根据大量桥墩横向振幅的实测值与理论计算值,由脱轨系数低于1.0的控制标准确定了提速线轻型桥墩横向刚度检定标准参考限值。由以上方法确定的桥梁行车安全限值(或通常值)为确保桥上列车安全运行起到了一定作用,但尚存在如下不足:a. 脱轨系数评判标准对预防脱轨没有控制作用,超过其限值并不表示列车一定会脱轨,也不能控制列车实际产生的最大脱轨系数不超过其限值<sup>[8-10]</sup>;b. 分别制定梁跨结构和桥墩的行车安全限值,没有考虑梁墩系统的刚度匹配对桥上列车走行安全性的影响,没有建立整个桥梁(即梁墩系统)的行车安全限值。为此,本文作者对5座横向振幅超限桥梁的列车走行安全性进行了计算与

分析。基于列车脱轨能量随机分析理论,提出新的铁路桥梁横向振幅行车安全限值分析方法。运用此方法,制定提速线预应力混凝土T形梁桥横向振幅行车安全限值。

## 1 横向振幅超限桥梁列车走行安全性分析

运用列车脱轨能量随机分析理论<sup>[11-13]</sup>,计算京通线烟囱沟桥等5座横向振幅超限桥梁列车走行安全性,计算结果见表1。计算结果表明:尽管在一定车速下,实测和计算的桥梁横向振幅超过了《桥检规》行车安全限值,但列车在相应车速下并不会脱轨。计算结果也与实际结果一致。可见,现有《桥检规》行车安全限值过于严格,限制了桥梁运能的发挥,不利于铁路提速战略的实施,制定能反映桥上列车走行安全性的桥梁横向振幅行车安全限值十分必要。

## 2 铁路桥梁横向振幅行车安全限值分析方法

### 2.1 列车脱轨能量随机分析理论与预防脱轨条件

曾庆元等<sup>[11-13]</sup>创立了一套列车脱轨能量随机分析理论。该理论论证了列车脱轨的力学机理是列车-桥梁(轨道)系统横向振动丧失稳定,分析桥上列车是否脱轨就是分析车桥系统横向振动是否稳定。基于弹性系统稳定性总势能判别准则,提出了列车脱轨的能量增量判别准则:

当 $\Delta\sigma_{cr} > \Delta\sigma_{pr}$ 时,列车不脱轨;

当 $\Delta\sigma_{cr} < \Delta\sigma_{pr}$ 时,列车脱轨。

表1 横向振幅超限桥梁列车走行安全性计算结果

Table 1 Calculated results of safety of running train on bridge with lateral vibration amplitudes surpassing limit values

桥名及桥型	车速/ (km·h <sup>-1</sup> )	横向振幅实测 最大值/mm	横向振幅计算 最大值/mm	行车安全 限值/mm	理论分 析结果
京通线烟囱沟桥(预应力混凝土跨度为32 m的T形梁桥)	50	8.46	8.51	3.52	不脱轨
京通线东沟桥(预应力混凝土跨度为24 m的T形梁桥)	60	9.60	10.20	2.67	不脱轨
芜湖长江大桥引桥(预应力混凝土跨度为32 m的T形梁桥)	80	3.46	4.06	3.56	不脱轨
京广线颖河桥(预应力混凝土跨度为20 m的T形梁桥)	80	—	3.11	2.29	不脱轨
新郑大桥改建新桥(预应力混凝土跨度为32 m的T形梁桥)	80	—	7.41	3.56	不脱轨

其中： $\Delta\sigma_{cr}$ 和 $\Delta\sigma_{pr}$ 分别表示车桥系统横向振动极限抗力做功增量与输入能量增量。

在运用列车脱轨能量增量判别准则时，考虑到实测的车桥系统横向振动输入能量增量 $\Delta\sigma_{pr}$ 和理论计算的车桥系统横向振动极限抗力做功增量 $\Delta\sigma_{cr}$ 可能存在一定误差，作如下偏安全处理：设 $\Delta\sigma_{cr}$ 的计算值偏大10%， $\Delta\sigma_{pr}$ 的测试和统计值偏小10%，则得到考虑误差系数 $n(n=1.23)$ 的预防脱轨条件为

$$\Delta\sigma_{cr} \geq n\Delta\sigma_{pr}$$

## 2.2 确定桥梁横向刚度行车安全判别参数

研究桥梁横向动力性能，必须将梁跨结构与桥墩作为研究对象，研究梁墩系统的横向刚度能否满足桥上列车安全、平稳及舒适运行。针对确定的梁跨结构，研究与之匹配的桥墩横向刚度，使梁墩系统具有足够横向刚度，以确保桥上列车安全、平稳及舒适运行。京山线老滦河桥上行线桥梁横向刚度大于下行线桥梁的横向刚度。上行线桥梁上从未发生列车脱轨事故，而下行线桥梁上曾连续发生3次货物列车脱轨事故，经对比分析可知，桥梁横向刚度是影响桥上列车脱轨的主要原因。此外，下行线桥梁实测横向振幅比上行线桥梁横向振幅大很多<sup>[14]</sup>。可见，桥梁横向振幅可反映桥梁(梁墩系统)横向刚度性能，可作为桥上列车走行安全性的间接判别参数。因此，确定桥梁跨中横向振幅作为梁墩系统横向刚度行车安全判别参数。满足桥上列车安全、平稳及舒适运行要求的最大桥梁横向振幅即为桥梁横向振幅行车安全限值。桥梁跨中横向振幅综合反映了梁墩系统的横向动力性能，故墩顶横向振幅不再作为衡量桥墩横向动力性能的唯一指标，也不必满足目前《桥检规》规定的通常值指标。

## 2.3 确定预防脱轨的临界梁墩系统

建立列车-梁墩系统空间振动计算模型，运用列车脱轨能量随机分析理论，计算不同横向刚度的梁墩系统(不同横向刚度的桥墩与给定梁跨结构组成不同横向刚度的梁墩系统)的列车走行安全性。随着桥墩高度逐步增加，桥墩横向刚度逐步减弱，梁墩系统的横向刚度逐步减小，梁墩系统抵抗列车脱轨的能力逐步降低。当桥墩横向刚度降到一定值时，预防脱轨条件不能满足，而下一步计算所采用的桥墩横向刚度满足预防脱轨条件。故下一步计算对应的梁墩系统即为预防脱轨的临界梁墩系统。

## 2.4 计算梁墩系统横向振幅行车安全限值

预防脱轨的临界梁墩系统能保证列车不会脱轨。在此条件下，计算该临界梁墩系统的车桥系统振动响

应，对列车走行平稳性与舒适性进行分析。若该临界梁墩系统同时能够保证列车平稳、舒适过桥，则该临界梁墩系统即为能保证列车安全、平稳及舒适运行的最小横向刚度梁墩系统。根据车桥系统振动响应计算，得到上述最小横向刚度梁墩系统的桥梁跨中横向振幅，作为桥梁横向振幅行车安全限值。

若预防脱轨的临界梁墩系统不能保证列车平稳、舒适过桥，则逐步减少桥墩高度，增大桥墩横向刚度，继续计算梁墩系统的列车走行平稳性与舒适性，直到找到满足列车走行安全性、平稳性与舒适性要求的最小横向刚度梁墩系统为止。同样，根据车桥系统振动响应计算，得到该最小横向刚度梁墩系统桥梁跨中横向振幅，作为桥梁横向振幅行车安全限值。

# 3 预应力混凝土 T 形梁桥横向振幅行车安全限值

## 3.1 计算模型与计算工况

现场实测结果与理论计算结果均表明：全列空载及空重混编货物列车过桥时，车桥振动响应最大，空载货车发生脱轨的概率最大<sup>[15]</sup>。因此，在对货物列车走行安全性、平稳性及舒适性进行计算时，选空载货物列车为最不利的行车工况。为节省计算机时，取DF<sub>4</sub>机车牵引29辆C<sub>62</sub>空货车作为货物列车计算对象。另外，取SS<sub>8</sub>机车牵引14辆准高速客车作为旅客列车计算对象。为反映多跨简支梁墩系统的横向刚度性能，选取7跨32 m和24 m的预应力混凝土梁(参标桥2019)与标准设计桥墩(参标桥2019)组成的梁墩系统作为桥梁计算对象，分析预应力混凝土T形梁桥横向振幅行车安全限值。取标准设计桥墩作为计算对象，变化桥墩高度，即改变桥墩横向刚度，从而改变梁墩系统横向刚度。当桥墩横向刚度达到某临界值时，桥梁跨中横向振幅达到了确保列车安全、平稳及舒适运行的最大值(即行车安全限值)。而不同的桥墩与基础类型对桥梁横向刚度的影响均由不同的桥墩横向刚度反映。因此，不考虑桥墩与基础类型的影响，仅取标准设计桥墩作为计算对象，对研究预应力混凝土T形梁桥横向振幅行车安全限值基本上没有影响。建立车桥振动计算模型的方法见文献[12, 14]。本文作者对提速线桥梁横向振幅行车安全限值进行研究，提速线货物列车最高车速为80 km/h，旅客列车最高车速为180 km/h，故确定80 km/h为货物列车最高计算车速，180 km/h为旅客列车最高计算车速。

3.2 预防脱轨的临界梁墩系统的确定

运用列车脱轨能量随机分析理论, 分别计算不计桥墩影响以及墩高为 8.1~23.1 m(墩高按 1 m 增幅逐步增加, 下同)时, 跨度为 32 m 的预应力混凝土梁桥货物列车走行安全性, 计算车速为 60~80 km/h。不计桥墩影响以及墩高为 22.1 m 与 23.1 m 时的计算结果见表 2。同时, 计算不计桥墩影响以及墩高为 8.1~23.1 m 时, 跨度为 32 m 的预应力混凝土梁桥旅客列车走行安全性, 计算车速为 160~180 km/h。不计桥墩影响以及墩高 23.1 m 时的计算结果见表 3。

同样, 分别计算不计桥墩影响以及墩高为 8.1~21.1 m 时, 跨度为 24 m 的预应力混凝土梁桥货物列车走行安全性, 计算车速为 60~80 km/h。不计桥墩影响以及墩高为 20.1 m 与 21.1 m 时的计算结果见表 4。分别计算不计桥墩影响以及墩高为 8.1~21.1 m 时, 跨度为 24 m 的预应力混凝土梁桥旅客列车走行安全性,

计算车速为 160~180 km/h。不计桥墩影响以及墩高为 21.1 m 时的计算结果见表 5。

根据梁墩系统列车走行安全性计算结果, 对于跨度为 32 m 的预应力混凝土梁桥, 不计桥墩影响的多跨筒支梁上货物列车在 80 km/h 及以下车速下不会脱轨。当桥墩高度增到 23.1 m, 速度为 80 km/h 的货物列车过桥时, 不满足预防脱轨条件。而当墩高不高于 22.1 m, 货物列车以 80 km/h 及以下车速过桥时, 满足预防脱轨条件, 不会脱轨。另外, 当桥墩高度增到 23.1 m, 旅客列车以 180 km/h 及以下车速过桥时, 满足预防脱轨条件, 不会脱轨。因此, 取墩高 22.1 m、跨度为 32 m 的预应力混凝土梁桥预防脱轨的临界墩高, 22.1 m 高的桥墩与梁跨结构组成的梁墩系统即为预防脱轨的临界梁墩系统。同样, 得到墩高为 20.1 m、跨度为 24 m 的预应力混凝土梁桥预防脱轨的临界墩高, 高度为 20.1 m 的桥墩与梁跨结构组成的梁墩系统

表 2 跨度为 32 m 的预应力混凝土 T 形梁桥货物列车走行安全性计算结果

Table 2 Calculated results of safety of running freight train on 32 m long T-shape prestressed concrete bridge

桥墩情况	车速/(km·h <sup>-1</sup> )	$\sigma_c$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$\Delta\sigma_c$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$\sigma_p$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$n\Delta\sigma_p$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	是否满足预防脱轨条件
不计桥墩影响	80	277	61	126.0	45.0	满足
	70	216	36	89.4	25.7	满足
	60	180	32	68.5	20.9	满足
	50	148	—	51.5	—	—
墩高 22.1 m	80	206	56	126.0	45.0	满足
	70	150	32	89.4	25.7	满足
	60	118	28	68.5	20.9	满足
	50	90	—	51.5	—	—
墩高 23.1 m	80	179	33	126.0	45.0	不满足
	70	146	30	89.4	25.7	满足
	60	116	29	68.5	20.9	满足
	50	87	—	51.5	—	—

表 3 跨度为 32 m 的预应力混凝土 T 形梁桥旅客列车走行安全性计算结果

Table 3 Calculated results on safety of running passenger train on 32 m long T-shape prestressed concrete bridge

桥墩情况	车速/(km·h <sup>-1</sup> )	$\sigma_c$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$\Delta\sigma_c$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$\sigma_p$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$n\Delta\sigma_p$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	是否满足预防脱轨条件
不计桥墩影响	180	446	19	143.3	8.0	满足
	170	427	24	136.8	12.2	满足
	160	403	17	126.9	6.6	满足
	150	386	—	121.5	—	—
墩高 23.1 m	180	337	20	143.3	8.0	满足
	170	317	19	136.8	12.2	满足
	160	298	24	126.9	6.6	满足
	150	274	—	121.5	—	—

表 4 跨度为 24 m 的预应力混凝土 T 形梁桥货物列车走行安全性计算结果

Table 4 Calculated results of safety of running freight train on 24 m long T-shape prestressed concrete bridge

桥墩情况	车速/(km·h <sup>-1</sup> )	$\sigma_c$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$\Delta\sigma_c$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$\sigma_p$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$n\Delta\sigma_p$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	是否满足预防脱轨条件
不计桥墩影响	80	298	56	126.0	45.0	满足
	70	242	34	89.4	25.7	满足
	60	208	30	68.5	20.9	满足
	50	178	—	51.5	—	—
墩高 20.1 m	80	239	55	126.0	45.0	满足
	70	184	31	89.4	25.7	满足
	60	153	28	68.5	20.9	满足
	50	125	—	51.5	—	—
墩高 21.1 m	80	214	33	126.0	45.0	不满足
	70	181	30	89.4	25.7	满足
	60	151	30	68.5	20.9	满足
	50	121	—	51.5	—	—

表 5 跨度为 24 m 的预应力混凝土 T 形梁桥旅客列车走行安全性计算结果

Table 5 Calculated results of safety of running passenger train on 24 m long T-shape prestressed concrete bridge

桥墩情况	车速/(km·h <sup>-1</sup> )	$\sigma_c$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$\Delta\sigma_c$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$\sigma_p$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	$n\Delta\sigma_p$ /(cm·s <sup>-2</sup> )	是否满足预防脱轨条件
不计桥墩影响	180	477	25	143.3	8.0	满足
	170	452	19	136.8	12.2	满足
	160	433	15	126.9	6.6	满足
	150	418	—	121.5	—	—
墩高 21.1 m	180	388	17	143.3	8.0	满足
	170	371	21	136.8	12.2	满足
	160	350	23	126.9	6.6	满足
	150	327	—	121.5	—	—

为预防脱轨的临界梁墩系统。

### 3.3 临界梁墩系统列车走行平稳性与舒适性的计算

计算货物列车与旅客列车通过预防脱轨的临界梁墩系统的车桥振动响应。跨度为 32 m 与 24 m 的预应力混凝土梁墩系统上列车平稳性与舒适性斯佩林指标以及桥梁跨中横向振幅计算结果分别见表 6 与表 7。从计算结果可以看出,当货物列车车速为 80 km/h 及以下时,机车的舒适性斯佩林指标小于 3.45,车辆的平稳性斯佩林指标小于 4.25,均满足合格要求。当旅客列车车速在 180 km/h 及以下时,机车的舒适性斯佩林指标小于 3.45,客车的舒适性斯佩林指标小于 3.0,均满足合格要求。故对于跨度为 32 m 与 24 m 的预应力混凝土梁桥,预防脱轨的临界梁墩系统同时满足货物列车与旅客列车走行平稳性与舒适性要求。

### 3.4 梁墩系统横向振幅行车安全限值的确定

根据桥上列车走行安全性、平稳性与舒适性计算

结果,对于跨度为 32 m 的预应力混凝土 T 形梁桥,当墩高为 22.1 m 时,梁墩系统具有保证列车安全、平稳与舒适运行的最小横向刚度。此时,桥梁跨中横向振幅为 8.04 mm;当桥梁横向刚度高于上述最小横向刚度时,列车的安全性、平稳性与舒适性有保障,同时,桥梁跨中横向振幅小于 8.04 mm;当桥梁横向刚度低于上述最小横向刚度时,列车的安全性、平稳性与舒适性无保障,同时,桥梁跨中横向振幅大于 8.04 mm。故确定跨度为 32 m 的预应力混凝土 T 形梁桥横向振幅行车安全限值为 8.04 mm,约为  $L/3\ 980$ (其中, $L$ 为桥梁跨度,单位为 mm)。同样,得到跨度为 24 m 的预应力混凝土 T 形梁桥横向振幅行车安全限值为 5.44 mm,约为  $L/4\ 411$ 。

对跨度为 32 m 与 24 m 的预应力混凝土 T 形梁桥的横向振幅行车安全限值进行安全处理,取  $L/4\ 500$  作为预应力混凝土 T 形梁桥横向振幅行车安全限值建

表6 跨度为32 m的预应力混凝土T形梁桥列车走行平稳性与舒适性计算结果

Table 6 Calculated results of smoothness and comfort of running train on 32 m long T-shape prestressed concrete bridge

列车类型	车速/(km·h <sup>-1</sup> )	机车舒适性斯佩林指标		车辆平稳性斯佩林指标		桥梁跨中横向振幅/mm
		竖向	横向	竖向	横向	
货物列车	80	2.96	3.37	3.89	4.22	8.04
	70	2.85	3.28	3.75	4.18	7.23
	60	2.78	3.13	3.62	4.13	5.86
旅客列车	180	3.04	3.28	2.87	2.91	3.11
	150	2.96	3.24	2.75	2.84	2.86
	120	2.87	3.15	2.66	2.70	2.73

表7 跨度为24 m的预应力混凝土T形梁桥列车走行平稳性与舒适性计算结果

Table 7 Calculated results of smoothness and comfort of running train on 24 m long T-shape prestressed concrete bridge

列车类型	车速/(km·h <sup>-1</sup> )	机车舒适性斯佩林指标		车辆平稳性斯佩林指标		桥梁跨中横向振幅/mm
		竖向	横向	竖向	横向	
货物列车	80	2.88	3.31	3.82	4.13	5.44
	70	2.75	3.19	3.63	4.05	4.85
	60	2.72	3.05	3.55	3.88	4.03
旅客列车	180	3.01	3.07	2.77	2.80	2.90
	150	2.87	2.92	2.65	2.69	2.63
	120	2.78	2.86	2.53	2.58	2.47

议值。该建议值较《桥检规》行车安全限值( $L/9000$ )大很多。用该建议值作为预应力混凝土T形梁桥行车安全限值既可以保证列车安全运行,又能够充分发挥桥梁的运能。

## 4 结 论

a. 运用列车脱轨能量随机分析理论计算了5座横向振幅超限桥梁上列车走行安全性。结果表明,现有的桥梁横向振幅行车安全限值过于严格,制约了既有桥梁运能的发挥。

b. 基于列车脱轨能量随机分析理论,提出新的铁路桥梁横向振幅行车安全限值分析方法。具体步骤为:建立考虑一定误差系数的预防脱轨条件,确定桥梁横向刚度行车安全判别参数,确定预防脱轨的临界梁墩系统,计算梁墩系统横向振幅行车安全限值。运用该方法,算出提速线跨度为32 m和24 m的预应力混凝土T形梁桥横向振幅行车安全限值分别为 $L/3980$ 和 $L/4411$ 。取 $L/4500$ 作为预应力混凝土T形梁桥的横

向振幅行车安全限值建议值。

### 参考文献:

- [1] 刘书胜, 耿玉新, 王进军, 等. 京通线赤峰—隆化间桥梁综合检定与评估报告[R]. 吉林: 吉林铁路桥检检测设计所, 2001. LIU Shu-sheng, GENG Yu-xin, WANG Jin-jun, et al. Report on rating the bridges between Chifeng and Longhua on Jingtong line[R]. Jilin: Jilin Institute for Rating and Designing Railway Bridge and Line, 2001.
- [2] 铁运函[2004]120号, 铁路桥梁检定规范[S]. Railway transport correspondence [2004] No:120, Code for rating existing railway bridges[S].
- [3] 曾庆元, 郭向荣. 列车桥梁时变系统振动分析理论与应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999. ZENG Qing-yuan, GUO Xiang-rong. Theory of vibration analysis of train-bridge time-variant system and its application[M]. Beijing: China Railway Press, 1999.
- [4] 顾萍. 根据货车脱轨安全度确定铁路钢桥的横向振幅限值[J]. 铁道学报, 2000, 22(增刊): 87-91. GU Ping. Determination of allowable lateral amplitudes of railway steel bridges based on derailment factor of freight vehicle[J]. Journal of the China Railway Society, 2000,

- 22(Suppl): 87-91.
- [5] 曹雪琴, 吴定俊, 罗蔚文, 等. 铁路桥梁刚度检定标准总报告[R]. 上海: 上海铁道大学, 1998.
- CAO Xue-qin, WU Ding-jun, LUO Wei-wen, et al. General report on rating criterion of railway bridge rigidity[R]. Shanghai: Shanghai Railway University, 1998.
- [6] 吴定俊. 提速状态下车桥耦合振动理论与桥梁横向动力性能的研究[D]. 上海: 同济大学土木工程学院, 2005.
- WU Ding-jun. Research on the vibration principle and lateral dynamics performance of railway bridge in speed-raising[D]. Shanghai: School of Civil Engineering, Tongji University, 2005.
- [7] 李运生. 铁路桥墩横向振动理论和试验研究[D]. 北京: 北京交通大学土木建筑工程学院, 2005.
- LI Yun-sheng. Theory and experiment studies on lateral vibration of railway bridge piers[D]. Beijing: School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, 2005.
- [8] 铁道部科学研究院, 济南铁路局, 徐州铁路分局. 津浦线货物列车脱轨试验报告[R]. 北京: 铁道部科学研究院, 1997.
- China Academy of Railway Science, Jinan Railway Bureau, Xuzhou Railway Sub-bureau. Test report on derailment of freight train on Jingpu line[R]. Beijing: China Academy of Railway Science, 1997.
- [9] 铁道部科学研究院, 北京铁路局. 大秦线C63A货物列车脱轨试验报告[R]. 北京: 铁道部科学研究院, 1997.
- China Academy of Railway Science, Beijing Railway Bureau. Test report on derailment of freight train (C63A) on Daqing line[R]. Beijing: China Academy of Railway Science, 1997.
- [10] 翟婉明. 车辆—轨道耦合动力学[M]. 2版. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- ZHAI Wang-ming. Study on vehicle-track coupled dynamics[M]. 2nd ed. Beijing: China Railway Press, 2002.
- [11] 曾庆元, 向俊, 娄平, 等. 列车脱轨的力学机理及防止理论[J]. 铁道科学与工程学报, 2004, 1(1): 19-31.
- ZENG Qing-yuan, XIANG Jun, LOU Ping, et al. The mechanical mechanism of derailment and the theory of derailment prevention[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2004, 1(1): 19-31.
- [12] 曾庆元, 向俊, 周智辉, 等. 列车脱轨分析理论与应用[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2006.
- ZENG Qing-yuan, XIANG Jun, ZHOU Zhi-hui, et al. Analysis theory and application of train derailment[M]. Changsha: Central South University Press, 2006.
- [13] 周智辉, 曾庆元, 向俊. 新郑大桥改建新桥横向刚度分析[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2006, 31(1): 165-168.
- ZHOU Zhi-hui, ZENG Qing-yuan, XIANG Jun. Analysis of bridge lateral rigidity for new Xinzheng bridge[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2006, 31(1): 165-168.
- [14] 周智辉. 列车脱轨分析理论与控制脱轨的桥梁横向刚度限值研究[D]. 长沙: 中南大学土木建筑学院, 2007.
- ZHOU Zhi-hui. Study on theory of train derailment analysis and limit value of bridge lateral rigidity for derailment control[D]. Changsha: School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, 2007.
- [15] 向俊, 孔凡兵, 曾庆元. 货物列车编组对列车—桥梁系统空间振动的影响[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2007, 38(2): 345-350.
- XIANG Jun, KONG Fan-bing, ZENG Qing-yuan. Influence of freight train formation on spatial vibration of train-bridge system[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2007, 38(2): 345-350.