

铁路超长轨节无缝线路

范俊杰 编著

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 9 6 年 · 北京

前 言

近年来,在铁道部工务局的组织与指导下,我国铁路铺设了超长轨节无缝线路。不少路局已铺设、焊连了几公里到十几公里长的区间超长轨节无缝线路。在北京、郑州局管内,还铺设了跨区间的超长轨节无缝线路试验区段。超长轨节无缝线路的优越性日益被人们所认识,正处于蓬勃发展的前期。由于超长轨节无缝线路的知识还不够普及,一些技术问题,特别是无缝道岔的一些问题尚未完全解决,因而也使超长轨节无缝线路在我国的迅速推广受到一定的限制。为了配合我国超长轨节无缝线路的铺设、推广,普及有关技术和知识,笔者根据其近年来的研究成果和国内外一些资料编著了此书,以期在我国超长轨节无缝线路的发展中贡献一点微薄的力量。该书可供现场科技人员、科研与教学人员参考。

由于水平和时间所限,书中错漏之处难免,敬请批评指正。

范俊杰

1995年9月

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

随着铁路高速重载运输的需要,作为新型轨道结构的重要组成部分——超长轨节无缝线路,已开始步入蓬勃发展阶段。为适应广大线路工作者的需要,本书集国内外当前铺设超长轨节无缝线路的理论和实践,结合作者的试验研究成果,论述了超长轨节无缝线路的构造特点、设计、铺设与养护技术。其中对胶接绝缘接头的基本结构和工艺,对无缝道岔的结构特点、设计和焊接技术作了重点分析介绍,阐述了自己的观点。内容简明,理论清楚。适用于从事线路工作的科研、教学、工程技术人员和管理干部阅读。

铁路超长轨节无缝线路

范俊杰 编著

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 陈健 封面设计 陈东山

中国铁道出版社印刷厂印

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:4.125 字数:103 千

1996 年 6 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1-- 2000 册

ISBN7-113-02253-7/TU·487 定价:6.00 元

目 录

第一章 概述	1
第二章 超长轨节无缝线路的结构与特点	5
第一节 超长轨节无缝线路的基本结构	5
第二节 超长轨节无缝线路的关键技术	9
第三节 超长轨节无缝线路的受力特点	10
第三章 胶接绝缘接头	19
第一节 胶接绝缘接头的基本结构	19
第二节 胶接绝缘接头的制造工艺	21
第三节 胶接绝缘接头的检验分析	22
第四节 胶接绝缘接头的铺设与维修	27
第四章 无缝道岔	28
第一节 无缝道岔结构特点	29
第二节 无缝道岔的设计计算	29
第三节 无缝道岔的焊接	101
第五章 超长轨节无缝线路的设计	108
第一节 结构要求	108
第二节 外业调查	109
第三节 设计的主要内容	110
第六章 超长轨节无缝线路的铺设与养护	114
第一节 超长轨节无缝线路的铺设	114
第二节 超长轨节无缝线路的养护维修	124
参考文献	126

第一章 概 述

众所周知,本世纪轨道结构技术进步的突出代表是无缝线路。无缝线路的出现,不但在理论上修正和丰富了轨道结构的设计、计算内容,而且在结构上改变了轨道的联接方式,消除了钢轨接头,减少列车在接头区的冲击与振动,不但延长了轮、轨部件的使用寿命、减少了维修费用,而且提供了平滑的运行表面,给列车运营和行车安全也带来诸多好处。尤其对高速与重载铁路来讲,无缝线路已成为它们不可或缺的轨道结构型式。因此,无缝线路在世界各国得到了广泛的应用与推广。目前全世界已铺设 30 多万 km 的无缝线路,截止 1993 年底我国也铺设了近 2 万 km 的无缝线路。这其中绝大部分是温度应力式无缝线路。

温度应力式无缝线路的钢轨要承受很高的温度力。由无缝线路的基本原理可知,温度力 P_t 为:

$$P_t = E F \alpha \Delta t$$

式中 E —— 轨钢的弹性模量;

F —— 钢轨断面积;

α —— 钢轨的线胀系数;

Δt —— 轨温变化幅度。

由式(1)不难看出,无缝线路钢轨承受的温度力与钢轨长度无关,因而在理论上,无缝线路的轨节长度可以是无限长。但实际上,考虑到自动闭塞区段的绝缘接头的设置,桥梁、隧道、道岔的衔接及施工养护维修的方便,目前我国及一些国家铺设的无缝线路,其轨节长度多为 1~2km,两端尚铺有短轨组成的“缓冲(调节)区”,致使无缝线路中尚有 10%左右的有缝线路。接头混杂其中,使无缝线路的“无缝”优点未能充分发挥出来。为此,多年来国内外学者

不断地研究和探索,力图减少和消除无缝线路中的钢轨接头,使无缝线路的结构型式接近或达到理论上的完美状态。

经过人们长期的研究与试验,不断攻克影响无缝线路轨节长度的技术难关,为铺设“真正的”无缝线路创造了条件。这些技术难关主要有:

- 胶接绝缘接头的研制与铺设;
- 桥上无缝线路的设计与铺设;
- 无缝道岔的焊接与运用;
- 无缝线路施工方法的改进与完善。

由于这些技术难关的不断解决,无缝线路的轨节长度日益增长,钢轨接头逐渐减少,正在向“无缝线路轨节可以任意长”的目标前进。为区别于轨节长 $1\sim 2\text{km}$ 的无缝线路,人们称这种轨节很长的无缝线路为“通长焊接钢轨线路”或“超长轨节无缝线路”。当然,国内也有把这种线路称做“超长无缝线路”的说法。由于在理论上无缝线路可以任意长,为使概念上不至混淆又与我国无缝线路现状衔接,建议采用“超长轨节无缝线路”这一提法。

从减少钢轨接头,改进无缝线路结构来看,目前有两种无缝线路结构型式得到广泛的应用:

一、带有“伸缩调节器”的无缝线路

这种结构型式的无缝线路在日本铁路得到了广泛的应用。它不但铺在普通线路上,而且铺设在各条高速行车的新干线上。由于它在两根长轨条之间铺设了钢轨伸缩调节器(图1),从而消除了钢轨接头和由短轨组成的“缓冲区”。虽然其轨节长度只有 1500m 左右,但轨面平顺,减少了冲击与振动,有利于高速行车。当然,线路上增设了许多伸缩调节器且轨节长度也未加长,不但增多了线路上的薄弱环节,加大了养护维修工作量,而且也不利于重载运输,使其推广使用受到限制。因此,这种无缝线路不是理想的结构型式,也不是本书讨论的重点。

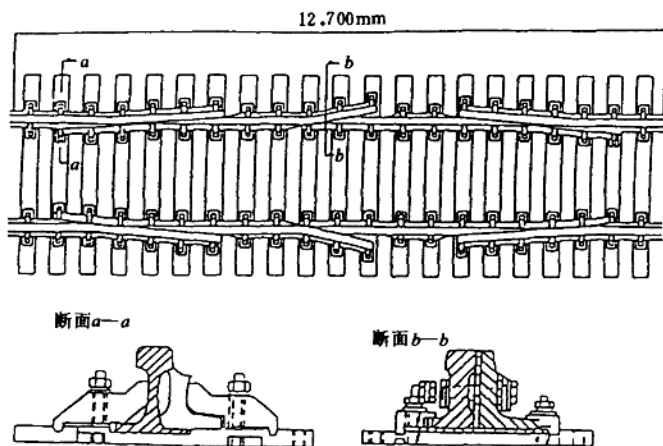


图 1

二、超长轨节无缝线路

这种无缝线路在欧洲,特别是在德国铁路得到了广泛的应用。其轨节长度可根据线路情况任意选定,有的长达几百公里,往往是从一个尽头车站到另一个尽头车站,钢轨直插车站端部站台,除胶接绝缘接头外,中间无任何接头与轨缝,真正达到了“无缝”状态。显然,这种型式无缝线路的轨条将穿越桥隧,跨过车站,完全消除了钢轨接头和由短轨组成的“缓冲区”,提高了轨道的平顺性,不但延长了轨道部件的使用寿命、减少了线路维修工作量,而且有利于行车安全和提高旅客的舒适度,是高速与重载铁路的理想轨道结构。然而铺设超长轨节无缝线路,除了胶接绝缘接头、桥上无缝线路等技术关键外,还必须解决无缝道岔的设计、焊接与铺设问题,这也是超长轨节无缝线路未能迅速推广的原因之一。

随着时间的推移,超长轨节无缝线路一些技术难题在一些国

家逐步得到解决,又鉴于它有明显的优点,因而在一些国家得到了广泛的应用。例如,截止 1992 年底,德国铁路 92.3% 的轨道都铺设了超长轨节无缝线路;在法国、奥地利、意大利、瑞士等国也得到了广泛的应用。随着欧洲高速铁路路网的修建,超长轨节无缝线路必将得到更为广泛的应用。

为进一步研究,开发轨道新技术,适应日益增长的铁路运输需要,我国已开始研究、试铺超长轨节无缝线路,并选定北京、郑州局铺设四段轨节长 20km 左右的试验段。其他一些路局也拟研究,试铺超长轨节无缝线路。相信不久的将来,超长轨节无缝线路也会在我国铁路上得到广泛的应用,使我国轨道结构的技术水平跃上一个新的台阶。

第二章 超长轨节无缝线路的结构与特点

根据无缝线路的基本原理,无缝线路钢轨可以任意长。因此,超长轨节无缝线路在基本原理方面并无重大变化,我们目前使用的有关无缝线路的设计计算、施工养护的理论和方法,大都适用于超长轨节无缝线路。这就为我们研究、铺设超长轨节无缝线路创造了方便条件。然而,超长轨节无缝线路作为一个较为完善的轨道型式,在结构型式、受力状态、设计计算及施工养护方面确有其特点。如果我们不认真研究、分析这些特点并采取相应的技术措施,也会出现严重问题,甚至导致这一新型轨道结构的失败。

第一节 超长轨节无缝线路的基本结构

一、轨节两端的结构处理

超长轨节无缝线路的最大特点之一就是轨节长度很长,可达几十、几百 km。但轨节再长也应有个终结,这就必然涉及到轨端结构的处理问题。根据所处的线路与车站状况,一般采用如下三种轨端结构型式:

(一)锚固式

若站端为尽头线,车站之间距离恰当且温差不大,可把长钢轨直插两个车站的端部站台,把超长钢轨两端死死地锚在混凝土灌注的站台内,形成两端固定的长轨结构型式。钢轨伸入到站台混凝土内的长度 l 可由计算确定:

$$l = \frac{\max P_t + P_t}{SC} \cdot K$$

式中 $\max P_t$ ——钢轨可能承受的最大温度力；

P_t ——制动、启动等附加纵向力；

S ——钢轨断面周边长，可按下值进行计算：

75kg/m 轨 $S=72\text{cm}$

60kg/m 轨 $S=69\text{cm}$

50kg/m 轨 $S=62\text{cm}$

C ——混凝土对钢轨的握裹力，150~300 号混凝土， C 采用 80N/cm^2 ；

K ——安全系数， $K=1.5$ 。

例如，若在北京地区铺设 60kg/m 钢轨超长无缝线路，其锁定轨温范围为 $18\sim 28^\circ\text{C}$ ，若当地最高轨温 62.6°C ，最低轨温 -22.8°C ，轨端采用锚固方式固定，尽头站台混凝土标号为 300 号，则钢轨插入站台内的长度 l 为：

$$\begin{aligned}\max P_t &= 242.8(\max \Delta T \cdot F) = 242.8 \times (28 + 22.8) \times 77.45 \\ &= 955287\text{N}\end{aligned}$$

$$P_t = 80000\text{N}$$

$$l = \frac{\max P_t + P_t}{SC} K = \frac{955287 + 80000}{69 \times 80} \times 1.5 = 281\text{cm}$$

若把 l 取整，钢轨插入站台内 3m 长就可以了。若想把钢轨锚固的更牢靠一些，也可在钢轨插入部分焊上横向钢板或钢条，以增加其抗拔力。

这种型式的端部结构，结构简单，造价低廉，只要保证施工质量，基本上不用进行维修，是比较理想的结构型式，因而在一些国家得到广泛的应用。然而由于我国尽头车站很少，这种结构型式估计不会得到广泛的采用。

(二)缓冲区式

在长轨条两端铺设由短轨组成的“缓冲区”，形成与普通无缝线路相同的轨端结构型式。其设计计算，施工养护工作均与我国目前广泛采用的温度应力式普通无缝线路相同。因此，估计超长轨节

无缝线路的这种轨端结构方式将在我国得到广泛应用。但这并不是理想的轨端结构型式。因为缓冲区内的轨缝仍然对高速与重载列车产生不利影响。因此,把超长轨节无缝线路的缓冲区放在列车需要停车或慢行的大站站内,将会减缓短轨组成的缓冲区的不利影响。

(三)伸缩调节器式

这种型式的轨端结构通常在下列情况下采用:

1. 代替短轨组成的缓冲区,把钢轨伸缩调节器作为长轨条之间的联接部件普遍采用,如日本高速铁路就是采用伸缩调节器联接的无缝线路。

2. 当超长轨节无缝线路与特大桥、不能焊接的岔区等特殊地段相连时,则需设置钢轨伸缩调节器,把超长轨节与这些区段联接起来,即用于特殊情况下的轨端联接。

由于钢轨伸缩调节器具有伸缩尖轨这种结构上的薄弱环节,且制造麻烦、造价较高、维修不便,所以应在必需情况下才适宜采用这种结构型式。

二、绝缘接头采用胶接型式

目前我国铺设的无缝线路轨节长度所以只有1~2km,原因之一是闭塞区间的轨道电路需要在如此长的距离内设置绝缘接头,因而必须把钢轨断开。如果要延长轨节长度,就需要在技术上采取一些措施。目前这些措施主要有两种,一是采用“无绝缘接头轨道电路”技术,采用这种技术区间钢轨将不需要设置钢轨绝缘接头,可把钢轨连续焊成需要的长度。但在进站信号机前及道岔区仍需设置绝缘接头;另一种技术措施是把绝缘接头胶接起来,从而把钢轨连成一个整体,消除了轨缝,为列车提供平滑连续的运行表面。胶接绝缘接头既能起到绝缘作用又消除了钢轨接缝,是超长轨节无缝线路的重要组成部分。从我国铁路现状来看,大部分超长轨节无缝线路将设置胶接绝缘接头。

三、道岔要焊成无缝道岔

在技术上,超长轨节无缝线路的轨节应能任意长,这样,穿越车站时钢轨必须与道岔焊连在一起。不与道岔焊连的无缝线路不是完全的超长轨节无缝线路。

众所周知,道岔是轨道的薄弱环节,其受力与变形比较复杂。为了减少列车施加给道岔的冲击与振动,把道岔内的钢轨接头焊接起来,消除了钢轨接头,简化了道岔结构,增加运行平顺性,同时也延长了各个部件的使用寿命,减少了维修养护费用。因此,理论与实践都证明,把道岔内的钢轨接头焊接或胶接起来,无疑是有利的。当超长轨节无缝线路穿越车站时,道岔两端还必须与长轨条焊连在一起。这时道岔的受力状况将发生变化,道岔两端将承受巨大的温度力(图 2),它将影响整个道岔的受力与变形。因此无缝道岔的定义应当是,不但道岔内钢轨接头被焊接或胶接起来,而且道岔两端要与无缝线路长轨条焊连在一起,形成直股或直、侧股无一轨缝的道岔。所以,具有无缝道岔是超长轨节无缝线路的基本结构特点,也是超长轨节无缝线路设计、施工与养护维修的重点之一。

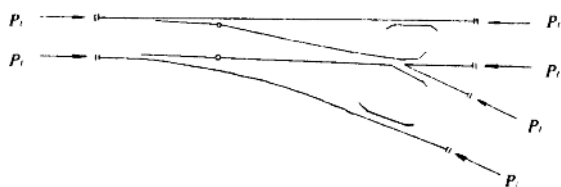


图 2

无缝道岔中彻底消除了钢轨接头,会带来一系列好处,也是道岔技术的完善与进步。但是,由于道岔两端承受着巨大的温度力,道岔也需要适当加强;扣件需要换成扣压力大的分开式扣件或弹

条扣件；岔枕须完好；道床应饱满密实；辙跟与叉跟座的连结螺栓要换成高强度螺栓，以增加其摩阻力。

四、轨道要采用重型轨道结构

超长轨节无缝线路的长轨条要穿越桥隧，通过车站，除承受正常的列车荷载和温度力外，还要经受桥梁、道岔等结构所产生的附加作用力，在一些特殊地段（隧道、深路垫），钢轨温度力还呈现不均匀现象。此外，随着轨条的延伸，线路条件、气候环境、运营状况都将发生变化，从而使超长轨节无缝线路不但受力状况复杂，而且工作环境严峻，需要采用重型轨道结构，以增大轨道刚度和线路阻力，提高无缝线路的强度与稳定性能，抵御受力状况复杂和工作条件严峻所带来的不利影响。

第二节 超长轨节无缝线路的关键技术

一、胶接绝缘接头

把绝缘接头胶接起来，是接头绝缘技术的进步与发展，它不但保证了接头的良好绝缘性能，而且增强了钢轨连接的整体性，改善了接头的受力条件，从而更适用于高速与重载的运营条件，得到广泛的应用。60年代初国外开始研究，铺设胶接绝缘接头，不断改进，日臻完善。1975年我国开始研制胶接绝缘接头，已在全国铺设了上千处国产胶接绝缘接头。

目前国内外采用的胶接绝缘接头大体有两类。一类是以环氧树脂为主要胶接材料的需加热胶接的绝缘接头；一类是以聚合树脂为主要胶接材料的常温胶接绝缘接头。胶接绝缘接头除应满足绝缘要求外，尚需达到一定的抗剪强度和疲劳强度，这也是研制或改进胶接绝缘接头时需解决的关键技术问题。

应当指出，由于“无绝缘接头轨道电路”技术的发展与推广应用，在采用这种技术的区段，除道岔区等少数处所外，大部分绝缘

接头将被拆除,胶接绝缘接头的铺设数量将显著减少。但即使在这些区段,绝缘接头的胶接技术仍然是铺设超长轨节无缝线路的关键技术之一。各国无缝线路的发展历史也表明,只有在解决了胶接绝缘接头有关技术难题之后,铺设超长轨节无缝线路的设想才能变为现实。

二、无缝道岔

无缝道岔是超长轨节无缝线路最重要的关键技术,至今只有少数国家掌握了这项技术。我国正在进行试验、研究、并准备引进、吸收国外无缝道岔的焊接技术。无缝道岔关键技术主要包括下述内容:

无缝道岔的设计计算;

无缝道岔辙叉的制造与道岔的焊连工艺;

无缝道岔的铺设与养护。

以后将专门介绍无缝道岔的有关内容。

第三节 超长轨节无缝线路的受力特点

如前所述,超长轨节无缝线路不但要承受现有无缝线路要承受的温度力与列车荷载,而且由于轨条长、跨越范围大,还要承受结构物(例如桥梁、道岔)与自然条件(例如轨温不均)所产生的附加力,致使造成超长轨节无缝线路纵向力不均现象,而形成独特的受力状况。

一、钢轨温度力不均匀

由于现有普通无缝线路的长轨条只有1~2km长,且轨条在隧道洞口断开,从而假定轨条各处的轨温相同,固定区的温度力分布均匀或大体均匀。但是超长轨节无缝线路的长轨条将历经不同的线路、气候和环境条件,承受的轨温变化幅度就不尽相同,其温度力的分布也不会均匀。例如同一定轨温的超长轨节穿越隧道

时,由于隧道内外轨温变化幅度相差较大,钢轨承受的温度力在隧道内外就有明显不同,从而造成超长轨节无缝线路固定区温度力分布不均的现象。

根据我国与日本的观测资料,夏季隧道内的轨温要比隧道外低 20°C 左右,冬季隧道内的轨温则比隧道外高 17°C , (我国文献资料为 3°C) 左右,考虑到一定的储备量,可以认为隧道内外的最大轨温差为 20°C ,相应的温度应力差为 $4857\text{N}/\text{cm}^2$ 。此外,隧道内外轨温变化应有一个过渡区。我们曾在北京局丰沙线隧道内外进行过轨温测量,以便确定轨温变化过渡区长度。表 1 列出测量结果:

表 1

测点位置 (m)	洞外					洞口	洞内		
	100	15	10	6	3		5	10	100
轨温	29	28	28	26	25	24	24	23	22
($^{\circ}\text{C}$)	41	41	38	36	30	26	25	24	24

由上表数值可知,隧道内外轨温变化过渡区大约在洞外 15m 范围内。这样,洞内外轨温差越大,轨温变化梯度就越高。同样,若轨条穿越东西向的深路堑或人工遮挡物也会使轨温产生差异并形成轨温过渡区。

根据温度力原理,这些轨温不同的区段及其过渡区,其钢轨温度力也会不同且出现温度力过渡区。但是这种温度力的升降是由于钢轨轨温变化幅度不同而造成的,它与无缝线路伸缩区温度力渐变的原因不同,钢轨位移状况也不一样。超长轨节无缝线路轨温过渡区的温度力变化梯度不但与道床纵向阻力有关,而且与该段钢轨轨温变化幅度关系密切。也就是说,超长轨节无缝线路长轨条所产生的温度力变化梯度与道床纵向阻力、轨温变化幅度之间存在着一定的规律。我们以隧道洞口区段为例来讨论这一规律。

(一)若隧道洞口内外钢轨完全被锚固而不能有任何伸缩变形,且洞口内外轨温过渡区的轨温变化梯度为常数,则无缝线路钢

轨温度力的变化规律和梯度与轨温变化规律与梯度相同(图 3)。我们把这种情况下的温度力变化梯度叫做温度力的名义变化梯度 r , 可由下式算得:

$$r = \frac{EF\alpha\Delta t}{l} \quad (1)$$

式中 Δt ——钢轨相邻区段轨温差;

E ——轨钢弹性模量, $E = 20.58 \times 10^6 \text{ N/cm}^2$;

F ——钢轨断面积, 75kg/m 轨, $F = 95.037 \text{ cm}^2$,

60kg/m 轨, $F = 77.45 \text{ cm}^2$,

50kg/m 轨, $F = 65.80 \text{ cm}^2$;

α ——轨钢线胀系数, $\alpha = 11.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$;

l ——轨温过渡区长度。

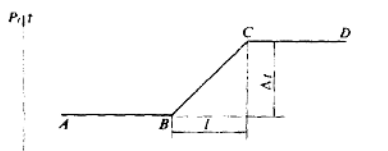


图 3

实测资料表明(参看表 1), 洞口轨温过渡段的轨温变化梯度并非定值, 它将随洞内外轨温差的增减而升降, 钢轨温度力的名义变化梯度 r 也随之变化。

(二) 若隧道洞口内外超长轨节无缝线路钢轨, 铺在具有单位纵向阻力为常数 p 的轨下基础或道床上, 则在轨温过渡区段, 钢轨内的温度力变化梯度不但受轨温变化梯度的影响, 而且与轨下基础单位纵向阻力或道床单位纵向阻力有关, 在某些情况下还伴有钢轨的伸缩变形。如前所述, 轨温变化梯度就是钢轨温度力名义变化梯度 r , 钢轨实际温度力变化梯度和钢轨伸缩变形将随 r 、 p 值及其相互关系而变化:

$$1. r > p$$

这时意味着道床纵向阻力还不能提供把钢轨完全固定所需要的足够约束,因而过渡区的实际温度力变化梯度将不是名义变化梯度 r ,而是按道床纵向单位阻力 p 的变化规律而变化(图 4),也就是说,温度力的实际变化梯度为 p 。

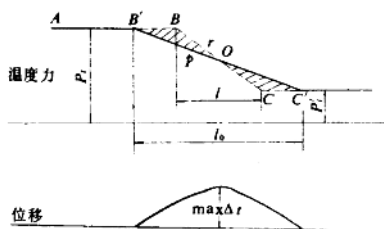


图 4

过渡区钢轨将产生伸缩位移,最大位移点在过渡区中部,最大伸缩量为图 4 阴影面积的一半除以 EF ,由此可导出最大伸缩位移的计算公式:

$$\max \Delta l = \frac{\triangle B'OB \text{ 面积}}{EF}$$

$$\triangle B'OB \text{ 面积} = \left(\frac{P_t - P_t'}{2} \right)^2 \times \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{r} \right) / 2 = \frac{(P_t - P_t')^2 (r - p)}{8pr}$$

则

$$\max \Delta l = \frac{(P_t - P_t')^2 (r - p)}{8EFpr}$$

由于

$$P_t - P_t' = EF\alpha\Delta t$$

则代入上式可得:

$$\max \Delta l = \frac{EF\alpha^2\Delta t^2}{8} \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{r} \right) \quad (2)$$