

文章编号: 1005-0523(2001) 02-0055-04

长大曲线路堤边坡稳定性分析

叶咏丰

(南昌铁路干部学校 工程教研组, 江西 南昌 330002)

摘要: 阐述曲线外侧路堤边坡沿路肩失稳, 以及沿道心和路肩一侧滑坡的现象, 分析列车作匀速曲线运动产生的横向力, 包括未被平衡离心力、导向力的作用, 以及地表水、地下水对路基稳定性的影响, 列举一例做抗滑稳定性检算¹⁹。

关键词: 汛期连降暴雨; 曲线路堤; 横向力; 导向力; 粘聚力; 稳定设施; 列车动荷载

中图分类号: U 231.1

文献标识码: A

0 引言

京九线是我国近几年来修通的一条国家 I 级铁路线路: 京九 I 线 96 年 9 月正式通车, 试运营; 京九 II 线于 98 年 8 月铺通, 并局部运营¹⁹。自从京九线通车以来, 每年的汛期(3—8 月), 发生水害较为频繁, 且多系路基部分的水害, 例如吉安工务段管内近年来的水毁点均发生在路基部分, 而且大部分的水害发生在曲线外侧, 曲线长度均在 800 m—900 m, 并且这些曲线地段按《规范》一般设计、施工, 当然也存在路基施工质量的问题和其它的一些问题¹⁹。

例如: 京九线 K 1675+310~+419(曲线外侧)路堤坍塌, 此段为曲线地段圆曲线部分, 曲线要素为: $R=1000\text{ m}$, $l=827\text{ m}$, $l_c=100\text{ m}$, $h=75\text{ mm}$, 1998 年 3 月该地段连降暴雨, 水田水位上涨, 浸没软化坡脚, 圆曲线外侧路肩开裂、破碎, 导致路肩边坡整体坍塌, 道碴流失严重, 危及行车安全(未中断行车); 当年 6 月及时整治, 耗资 21.4 万元¹⁹。2000 年 7 月该处附近又出现边坡溜坍, 当年 10 月底整治工程竣工¹⁹。但至今该圆曲线外侧路肩仍有一道道横向裂缝, 表面破碎¹⁹。

又如: 京九线 K 1669+000~+030(曲线外侧)路基滑坡, 此段为曲线地段圆曲线部分¹⁹。曲线要素为: $R=800\text{ m}$, $L=832.2\text{ m}$, $l_c=150\text{ m}$, $h=95\text{ mm}$, 1997 年 7 月连降暴雨数日, 此处严重下沉竟以 20 mm/d 的速度下沉(通过线路检查发现的), 后紧急组织人员抢修: 补充 10 车皮石碴丰满道床; 一个

月后, 此处又严重下沉, 又以 20 mm/d 的速度下沉, 又补充 10 车皮石碴丰满道床, 限速以 25 km/h 的速度行车, 11 月份仍可观测到; 外侧排水沟断裂(第三次), 路基边坡湿润陷脚、开裂, 裂缝扩大下挫、路堤坡脚下挡土墙围院水泥地面开裂上拱, 危及行车安全, 住宅安全, 限制运能(未中断行车), 98 年 3 月复旧工程竣工, 耗资 70 万元, 效果良好¹⁹。然而在同一弯道上距此仅 70 m, K 1669+100~+200 段, 1999 年 4 月连降暴雨, 29 日此处曲线外侧突然坍塌推倒围墙, 再砸倒车辆年检中心的一堵墙, 危及行车和车间安全¹⁹。

以上这些实例不得不让我分析思考、研究探讨这个问题, 即曲线地段的路基稳定性问题, 尤其是路堤形式通过的曲线外侧的稳定性问题¹⁹。我的观点是: 曲线路堤外侧应做抗滑稳定性检算, 整个圆曲线部分应做相应的稳定设施¹⁹。目前, 京九线曲线半径均在 800 m 以上, 曲线长度大多也在 800 m 以上, 长大弯道多, 速度提高曲线外轨超高也相应地增加了, 作用在钢轨上的横向力也在增加, 针对这些轨道条件不断提高, 对路基的要求也越来越高¹⁹。这些对我们的路基来说都面临着考验, 事实也说明了这一点, 路基是薄弱环节, 尤其是曲线地段的路堤在汛期频繁滑坡、坍塌, 甚至汛期过后几个月仍在发展¹⁹。解决曲线地段的路基稳定性问题已迫在眉睫¹⁹。

1 分析

收稿日期: 2001-01-13

作者简介: 叶咏丰(1964—), 女, 江西东乡人, 南昌铁路干部学校讲师¹⁹。

中国知网 <https://www.cnki.net>

我们先来分析作用于曲线轨道上的横向力,即在轮轨接触点的顶面上,作用着与钢轨纵轴垂直的力¹⁹。横向力是瞬间力,如某点车轮一过,此力就消失,但仍存在频率和大小的问题,如速度高、密度大,此力的频率就大,累计作用时间长,影响大(破坏力大);车体在曲线上的运动,以及车辆的摇摆都是产生横向力的原因,我们在研究曲线路基稳定性问题时,不可忽视横向力的作用¹⁹。

我们讲轨道构造(如钢轨接头),轨道维修状态(如三角坑),以及车辆做曲线运动(如未被平衡的离心力),都是产生横向力的因素;在目前机车车辆和轨道构造条件下是无法消除横向力的¹⁹。

假设我们的线路条件比较高,为无缝线路;轨道维修状态良好,外轨超高设置得常理想,与理论完全相符,即未被平衡的离心力为零¹⁹。然而导向轮作用在钢轨上的导向力无法消除,也就是说横向力,我们只考虑导向力¹⁹。

导向力的计算:取一个车辆转向架分析,它在行驶中的受力状态属于动力自由内接状态¹⁹。

假定:

- 1) 不考虑牵引力的作用,这样所得导向力偏大;
- 2) 各种力均作用于轨顶面的平面上;
- 3) 不考虑车轮踏面为锥体,略去由于车轮锥体踏面所产生的滑动;
- 4) 曲线的设置与设计完全相符,不考虑维修便差的影响,各车辆中心与轨道中点重合;
- 5) 各车轮与钢轨顶面的滑动磨擦系数均相等;
- 6) 不考虑轨道的弹性变形,车轮荷重以动荷载计¹⁹。

我们再来分析作用于曲线路基顶面的力,不可忽视横向振动力的作用(如导向力的作用)¹⁹。导向力主要作用在曲线外轨,方向垂直钢轨向外通过轨枕道床传递到路基顶面¹⁹。

假定:

- 1) 道碴颗粒均匀,道床捣固密实,可以认为道床是均匀连续的半弹性体;
- 2) 轨枕压力,自道床顶面传到路基顶面是以扩散角按直线扩散的;
- 3) 经由道床传到路基面的荷载,在道床顶面是平均分布的;
- 4) 木枕和钢筋混凝土枕有相同的支承图式;
- 5) 横向力由于列车速度快,密度大,在某点作用频率高,还有可能产生共振,在此视其连续作用,

同等方向、同等大小传到路基面上¹⁹。

近几来,我一直在关注这个问题——曲线路基问题,尤其是新线路基,我认为路堤填料优良,施工质量标准的曲线路堤地段,外侧往往发生路肩开裂,破碎坍塌,如此说来 K 1675+301~+419;而路堤填料为非渗水土或地基处理不好,路堤填土密实度不够往往从发生沿道床中心滑坡和沿路肩往一侧滑坡,范围较大,线路快速下沉,如 K 1669+000~+030 处¹⁹。在这种情况下,还应考虑未被平衡离心力的影响¹⁹。

2 算 例

京九线 K 1675+310~+419 段,曲线要素: $R = 1000 \text{ m}$, $l = 100 \text{ m}$, $L = 827 \text{ m}$, $h = 75 \text{ mm}$,路堤填料优良,横向力只考虑导向力的作用,采用直线(平面)破裂面法检算路基的抗滑稳定¹⁹。

1. 先求导向力

取一个货车车辆转向架分析,它在行驶中的受力状态属于动力自由内接状态,由曲线资料得:固定轴距 $L = 2.4 \text{ m}$,轴重 $2P = 23.0 \text{ t}$;曲线半径 $R = 1000 \text{ m}$,摩擦系数 $U = 0.25$ 。求出行车速度与旋转中心位置的关系图,得出旋转中心位置:

$$X_b = 1.92 \text{ m} \cdot X_a = 2.4 - 1.92 = 0.48 \text{ m}$$

$$\text{导向力: } FD_1 = J + 2H_1 - 2H_3 - F_n$$

式中: FD_1 —— 第一轴导向轮上的导向力;

J —— 车体分配到一个转向架上的离心力^[13]

$$\text{其值为: } J = GV/GR = 46 \times 100/10 \times 1000 \times 3.6 = 3.55(\text{t})$$

其中: G —— 所计算的车体分配到一个转向架上的重量,取 46 t ;

V —— 所计算的车体实际行驶速度,取 $V = 100 \text{ km/h}$;

g —— 重力加速度;

R —— 曲线半径;

F_n —— 因外轨超高而产生的车体重力向心分力,分配到一个转向架上的力¹⁹。其值为

$$F_n = Gh/S = 4 \times 0.075/1.5 = 2.3(\text{t})$$

其中: h —— 外轨超高; S —— 两钢轨顶面中点距,为 1.5 m

$$2H_1 = 2UPX_b/[X_b^2 + (S_1/2)^2]^{1/2} = 0.25 \times 23 \times 1.92/[1.92 + (1.5/2)^2]^{1/2} = 5.36(\text{t})$$

$$2H_3 = 2UPX_a/[X_a^2 + (S/2)^2]^{1/2} = 0.25 \times 23 \times 0.48/[0.48 + (1.5/2)^2]^{1/2} = 3.1(\text{t})$$

所以 $FD_1 = 3.55 + 5.36 - 3.10 - 2.30$
 $= 3.51(t) = 35.10 \text{ kN}$

2. 取一延米长路堤来研究其稳定性,如图 1 所示

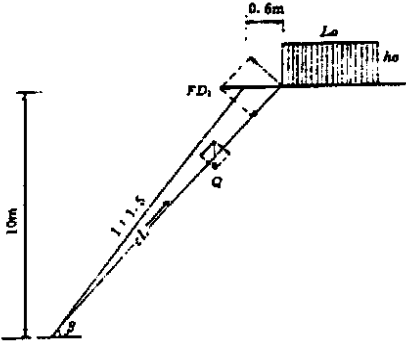


图 1 k1675+301~419 段路基边坡抗滑稳定性

设 ED 为破裂面,其与水平面夹角为 β
求 破裂面上方土体 BDE 的重量 Q ·有资料查得

$r = 19.8 \text{ kN/m}^2; h = 10 \text{ m}; \sin \beta = 0.54;$
 $\cos \beta = 0.84; \tan \beta = 1/1.56; \cot \beta = 1.56;$
 $Q = 0.6 \times 10 \times 19.8 \times 1/2 = 57(\text{kN})$
设粘聚力 $C = 2.5 \text{ kPa}; \quad \tan \alpha = 0.3$
则 下滑力 $T = Q \sin \beta + FD_1 \cos \beta$
 $= 57 \times 0.54 + 35.1 \times 0.84 = 60.264(\text{kN})$
 $L = (10^2 + 15.6^2)^{1/2} = 18.53(\text{m})$
抗滑力 $F_k = (Q \cos \beta - FD_1 \sin \beta) \tan \alpha + CL$
 $= (57 \times 0.84 - 35.1 \times 0.54) \times 0.3$
 $+ 2.5 \times 18.53 = 55(\text{kN})$

$K = F_k/T = 55/60.264 = 0.91 < 1.25$
故不稳定,与实际相符¹⁹.
* 若不考虑导向力对路基的影响¹⁹.
 $K = F_k/T = (Q \cos \beta \tan \alpha + CL) / Q \sin \beta = (57 \times$
 $0.48 \times 0.3 + 2.5 \times 18.53) / 57 \times 0.54$
 $= 60.69 / 30.78 = 1.97 > 1.25$

非常安全,与实际不符¹⁹.
以上算例说明了在渗水土路堤地段,填土本身的粘聚力较小,曲线外侧路肩,在不受横向力的作用的情况下,它还是基本稳定的,但考虑导向力的作用,它的抗滑能力就太小,从而失去稳定¹⁹.而软塑砂粘土路基地段,其粘聚力较大,故路肩一般不出现坍塌现象(经得起检算,然而饱和粘土的粘聚力大大降低,在诸多因素的作用下)而往往是从路基病害开始,如路堤下沉,道碴陷槽,翻浆冒泥等,再加曲线地

段横向振动力的作用,加剧了路基病害的发展,至使路基失稳,常常出现推动式滑坡¹⁹.如沿路基一侧切路肩而滑动或沿路堤一侧切入道心而滑动¹⁹.这类病害一旦发生,规模较大,整治费用较高¹⁹.

3 结 论

曲线路堤外侧边坡要针对道床传来的推动力的作用¹⁹.做相应的动力设计¹⁹.

建议:

- 1) 在路堤不高的曲线外侧路堤路肩旁修重力式挡土墙,配以纵向、横向排地下水渗沟¹⁹.
- 2) 在路堤较高(10 m 及 10 m 以上) 的曲线边坡坡脚修重力式挡土墙,上设坡面护墙,设多排泄水孔¹⁹.仍有待进一步观察¹⁹.2000 年 7 月京九线 K 1675 + 301~ + 419 曲线内侧边坡出现表层溜坍,线路状态仍较差¹⁹.

4 结束语

目前,铁路大提速,以及修筑部分高速铁路,来满足运输市场竞争的需求,这种形势给铁路路基工程技术的发展提供了前所未有的机遇¹⁹.铁道部规定:一般情况,运行速度小于 100 km/h,按经验来修筑路基;当运行速度介于 100—160 km/h 之间,需要运用一定的科学技术知识来解决问题;当运行速度大于 160km/h 时,需要运用更多的科学技术知识来解决问题¹⁹.

参考文献:

[1] 扬广庆,刘树山,刘田明.高速铁路路基设计与施工[M].北京:中国铁道出版社,1999,1.
[2] 铁道部人事司.铁路工务[M].地质路基[M].线路工程[M].四川:西南交通大学出版社,2000,4.
[3] 曹新文,蔡英.重复加载下路基填土的临界动应力和永久变形初探[J].西南交大报,1996,31(2) .
[4] 曹新文.路基动应力的基本原理与高速重载铁路路基[J].西南交大出版社,2000,(4) .
[5] 上海铁道学院.铁路轨道及路基[M].上海:1992.
[6] 郭达飞.中速行车的曲线有关设计问题[J].上海铁道学院;华东铁道,1989,(3) .
[7] 万耀斌.京九线 K 1669 + 200~ + 300 路基滑坡病害分析及整治的体会[J].江西铁道,2000,(1) .
[8] 郝瀛.铁道工程[M].西南交通大学,北京:中国铁道出版社,2000,3.

Stability Analysis of Large and Lengthy Curved Fill Side Slope

YE Yong-feng

(Academy of Railway Officers, Nanchang 330002, China)

Abstract: External lateral decent curved fills is proposed to be checked by balance objects. The transverse form produced by the train making uniform rectilinear curve movement is analyzed, with an account of unbalanced power, track power, and the influence of surface water and nudergrounder water on the stability of roadbeds and their countermeasures. An example is given to show how to counter the external lateral decent.

Key words: continuous torrential rain in flood season; curved fills; transverse power; track power; adhesion power; stability engineering; train live load; transverse thrust load

(上接第 51 页)

Discussion on Change of Hydraulic Head in Large Resistance Underdrain System

TANG Chao-chun¹, WANG Quan-jin¹, YANG Wei-quan²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. Nanhui Water Supply Company of Shanghai, Shanghai 201312, China)

Abstract: On the basis of energy distribution in uniform discharge along porous pipe, this paper analyzes the definition of efficient water head, and discusses the change of hydraulic head in large resistance underdrain system. The results indicate that orifice efficient water head is total water head and is not hydraulic head for uniform discharge along porous pipe. Because there is the difference, the conclusion about change of hydraulic head and dischrge through orifice in large resistance underdrain system is mistaken in reference [1][2], and some reasons of mistake are indicated.

Key words: uniform discharge along porous pipe; energy distribution; large resistance underdrain system; efficient water head; velocity head