

# 牵引计算参数取值对 列车牵引质量计算的影响

石红国

西南交通大学，交通运输与物流学院，成都 610031

**摘要：**论文从列车牵引质量计算和检算要求出发，对DF4b、HXD2b等机车在不同坡道、不同牵引力使用系数时进行计算分析，明确了牵引力使用系数对列车牵引质量计算的影响。同时，根据列车转动惯量系数定义，分析和计算了不同机车和编组构成的列车的转动惯量系数的差异，验证了不同转动惯量系数对列车牵引质量计算结果的影响。通过两个系数的计算分析，给出了改革牵引力使用系数的建议。

**关键词：**牵引力使用系数；牵引质量；转动惯量系数

中图分类号：U260

文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2015)04-0018-05

DOI:10.3969/j.issn.1672-4747.2015.04.003

## Compact of Train Traction Indexes on

## Train Hauled Load Evaluation

SHI Hong-guo

School of Transportation and Logistics,

Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

**Abstract:** According to the requirements of train hauled weight calculation by 《Chinese Train Traction Calculation Standard》, this paper calculated train hauled weights of DF4b and HXD2b locomotives with different traction force coefficients. Through calculation and analysis, the influence of the coefficient was made clear. On the other hand, the other train traction index—the moment of inertia coefficient—was analyzed with different locomotives and cars according to its marshalling. The analysis verified the influence of the moment of inertia on the evaluation of train hauled weight. By analyzing the two coefficients, the paper gave a suggestion on the traction force coefficients.

收稿日期：2015-02-13.

基金项目：国家自然科学基金重大项目（编号：U1334201）。

作者简介：石红国（1974-），男，河南偃师人，博士，西南交通大学交通运输与物流学院副教授。主要研究方向：列车牵引计算；交通运输系统仿真；交通运输安全。

Key words :Train traction force indexes, train hauled weight, the moment of inertia coefficient

## 0 引言

列车牵引质量的计算和检验是列车牵引计算科学要解决的核心问题之一。近年来,随着机车制造和运用技术的日益提高,机车寿命和可靠性也大幅度提升。由此带来了机车牵引力使用系数存废问题。另外,列车编组和载重直接影响到列车的转动惯量系数取值,但是,牵引计算规程只给了一个值。本文通过分析计算和比较牵引力使用系数与转动惯量系数取值对列车牵引质量计算的差异,来明确这些参数取值的影响,为制定科学、合理的列车牵引计算方面的技术标准,提供理论参考。

## 1 列车牵引质量计算方法

根据列车牵引计算规程<sup>[1]</sup>和列车牵引计算的教科书<sup>[2]</sup>,列车牵引质量计算主要依据三种情况:(1)依据列车在限制坡道上以计算速度等速运行计算牵引质量;(2)依据列车在平直道上以最大速度运行时保有的剩余加速度计算牵引质量;(3)非自动闭塞区段,可以依据动能闯坡来试凑列车牵引质量。列车牵引质量检算时,规定的检验方法很多,常见的有:(4)列车在限制坡道上能够起动;(5)列车在长大下坡道运行时制动机充风和空走时间限制;(6)列车长度受到车站到发线有效长度的限制等。

对于列车牵引质量计算方法,最常用的是(1)和(2)。采用(1)计算列车牵引质量的公式如下:

$$G = \frac{\lambda_y F_j \cdot 10^3 - P \cdot (w'_0 + i_x) \cdot g}{(w''_0 + i_x) \cdot g} \quad (1)$$

式中, $G$ 是列车牵引质量(t); $\lambda_y$ 是牵引力使用系数; $F_j$ 是机车计算牵引力(kN); $P$ 为机车质量(t); $w'_0$ 、 $w''_0$ 分别是机车和车辆在计算速度下的单位运行阻

力(N/kN); $i_x$ 是限制坡道线路附加阻力; $g$ 是重力加速度。

如果有多台机车牵引,则牵引质量计算公式为:

$$G = \frac{\lambda_y \Sigma F_j \cdot 10^3 - [\Sigma(P \cdot w'_0) + \Sigma P \cdot i_x] \cdot g}{(w''_0 + i_x) \cdot g} \quad (2)$$

采用(2)计算列车牵引质量公式如下:

$$G = \frac{F_g \cdot 10^3 - (P \cdot w'_0 \cdot g) - P \cdot (1 + \gamma) a \cdot 10^3}{w''_0 g + (1 + \gamma) \cdot 10^3 \cdot a} \quad (3)$$

式中, $F_g$ 为列车在平直道上最大速度运行时的牵引力; $\gamma$ 是列车转动惯量系数; $a$ 是列车在平直道上以最大速度运行时的剩余加速度(m/s<sup>2</sup>)。

对于列车牵引质量的检算方法这里不再说明,可以参考相关文献<sup>[2-3]</sup>。

## 2 牵引力使用系数对牵引质量计算的影响

牵引力使用系数是1998年牵引计算规程<sup>[1]</sup>中引进的用于限定机车牵引力使用程度的一个人为添加的系数,该标准推荐取值0.9。本文将根据目前常见机车型号通过实例定量分析牵引力使用系数对牵引质量计算带来的影响。

计算机型及其参数<sup>[3]</sup>如表1所示。

表1 部分机型参数  
Tab.1 Some locomotive indexes

机车型号	起动牵引力/kN	持续速度/(km/h)	持续牵引力/kN	装备质量/t	限制速度/(km/h)
DF4b	442	21.8	313	138	100
HXD2b	584	76	455	150	120
HXD3(23 t)	520	70	370	138	120
HXD3(25 t)	570	65	400	150	120

同时考虑线路限制坡道的取值情况，选择 4‰、6‰、8‰、12‰、15‰、20‰ 分别进行计算；考虑不同牵引力使用系数的影响，分别取牵引力系数 0.90、0.93、0.95、0.97 和 1.0。

以滚动轴承货车为例，计算不同限制坡道上，采用不同牵引力使用系数带来的列车牵引质量的变化情况。表 2 表示的是 DF4b 货运型内燃机车牵引质量计算结果：

表 2 DF4b 在不同限坡不同牵引力系数下的牵引质量  
Tab.2 Train hauled weight of locomotive DF4b

牵引力系数	不同限坡下的牵引质量/t					
	4‰	6‰	8‰	12‰	15‰	20‰
0.9	5 458	3 878	2 994	2 036	1 631	1 211
0.93	5 646	4 013	3 099	2 110	1 690	1 257
0.95	5 772	4 103	3 170	2 158	1 730	1 287
0.97	5 897	4 193	3 240	2 207	1 770	1 317
1.00	6 086	4 329	3 345	2 280	1 829	1 363

从表 2 中可以看出，DF4b 牵引滚动轴承货物列车在同一限坡上，采用不同的牵引力系数时，计算牵引质量渐次递增。不同的限制坡道对牵引力系数影响不大，采用 1.0 的的牵引力系数比 0.90 时牵引质量增加 11% ~ 13%。

如果用 HX2b 型电力机车进行计算，可以得到类似结果，如图 1。

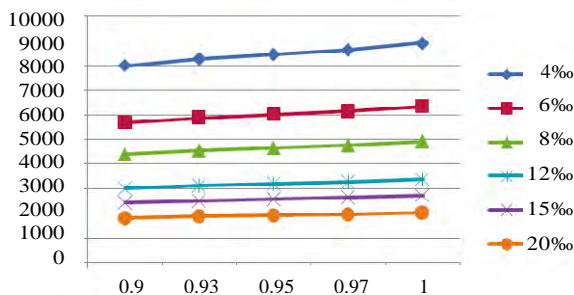


图 1 HXD2b 电力机车牵引质量随牵引力系数变化情况

Fig.1 Train hauled weight variation with traction force coefficient of HXD2b locomotive

由图 1 可以看出，牵引质量随牵引力系数渐变时呈现大致线性变化，如果以牵引系数 0.9 时列车牵引质量作为 100，则牵引系数取 0.95 时，牵引质量大体是 105 ~ 106，牵引系数取 1.0 时，牵引质量为 111 ~ 113。

### 3 转动惯量系数取值对牵引质量计算的影响

转动惯量是物体转动时的一个属性，代表物体在转动时惯性的量度。列车的转动惯量系数表示的是列车旋转部分和整车惯性的对比。列车运动时，机车合力的做功有一部分转化为非转动部分，如车体的平移动能，另一部分转化为旋转部分，如车轮、车轴的旋转动能。如果不考虑列车旋转部分对合力做功的消耗，计算整车合力及列车加速度、速度、运行时分等参数时就会产生误差。所以，通过引入列车转动惯量系数（以  $\gamma$  表示）来修正列车运行参数的计算误差。但是，目前这一参数的取值非常随意，牵引计算规程给出唯一数值 0.06。而实际上不同的列车、不同的车型甚至不同的状态（空、重）都会影响这一系数（如表 3 所示），从最小的重货车 0.03 到最大的电力机车 0.25，相差 8 倍以上。

本文根据目前文献[4]中提供的数据，进行计算、比较和分析不同的  $\gamma$  值带来的计算差异，明确这一参数的影响程度。

表 3 列车转动惯量系数取值

Tab.3 Train moment of inertia coefficients

车型	转动惯量系数	车型	转动惯量系数
电力机车	0.15-0.25	旅客列车	0.06
内燃机车	0.10-0.15	重货物列车	0.06
客车	0.04-0.06	空货物列车	0.10
重货车	0.03-0.04	动车组	0.08-0.11
空货车	0.08-0.10		

根据

$$E_m = \frac{1}{2}(P + G)(1 + \gamma_l)v^2 = \frac{1}{2}P(1 + \gamma_p)v^2 + \frac{1}{2}G(1 + \gamma_G)v^2$$

得：
$$\gamma_i = \frac{P\gamma_P + G\gamma_G}{P + G} \quad (4)$$

式中， $\gamma_i$  为列车的转动惯量； $P$ 、 $G$  分别为机车和车列质量； $\gamma_P$  和  $\gamma_G$  分别为机车和车列的转动惯量； $E_m$  为列车的动能； $v$  是列车速度。

当列车编组复杂时，可以得到不同编组列车的转动惯量系数计算公式：

$$\gamma_i = \frac{P\gamma_P + G\gamma_G}{P + G} = \frac{P\gamma_P + m_1\gamma_1 + m_2\gamma_2 + \dots + m_n\gamma_n}{P + m_1 + m_2 + \dots + m_n} \quad (5)$$

式中， $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 、 $\gamma_n$  分别为第 1、2、 $n$  辆车的转动惯量系数； $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_n$  分别为第 1、2、 $n$  辆车的质量。

这里依据表 1 取 DF4b 货运型内燃机车、HXD2b 型电力机车、50 辆 C62 编组的空车和重车列车，分别计算列车的转动惯量系数，可以得到计算转动惯量系数的差异，见表 4。

表 4 机车和编组重量对列车转动惯量系数的影响

Tab.4 Influence of locomotive weight and car weights on coefficients of inertia moment

机车类型	机车质量/t	机车转动惯量系数	列车编组质量/t	车辆转动惯量系数	列车转动惯量系数
DF4b	138	0.1	4000	0.03	0.032
		0.15	1050	0.1	0.106
HXD2b (25)	150	0.15	4000	0.03	0.034
		0.25	1050	0.1	0.119

从表 4 可以看出，不同列车编组对列车计算转动惯量系数的影响是巨大的。当列车质量较轻时，计算转动惯量系数偏大，如果以 0.06 作为标准值，最大值超出标准值 76% 以上，而列车较重时，计算转动惯量系数偏小，只有标准值的 50% 多。所以，不同列车编组对于转动惯量系数的影响很大。

同时，根据由此计算的转动惯量系数，可以利用公式 (3)，计算出剩余加速度  $0.005\text{m/s}^2$  时的机车牵引质量，计算结果见表 5。

表 5 转动惯量系数对计算牵引质量的影响

Tab.5 Influence of coefficients of inertia moment on train hauled weights

机车类型	列车转动惯量/ $\gamma_i$	牵引质量/t
DF4b	0.032	1 022
	0.06	1 017
	0.106	1 008
HXD2b (25t)	0.034	7 572
	0.06	7 546
	0.119	7 486

从表 5 可以看出，尽管计算转动惯量系数差异很大，而采用公式 (3) 计算列车牵引质量时，其结果的差异是微小的，这一差异只有 1% 不到。因此可以说转动惯量系数选择的一般差异，对列车牵引质量计算的影响可以忽略。

## 4 结 论

目前的牵引计算规程是 1998 年制定的，已经有 17 年之久。其规定在计算和检算列车牵引质量时，要乘以 0.9 的牵引力使用系数，这是与 20 世纪 90 年代以前我国机车制造和维护技术落后，可靠性较低的情况分不开。随着我国铁路机车制造和维修技术的发展，当初选择这一系数已经逐渐失去意义，过于保守的使用系数将造成机车牵引能力的浪费。因此本文得到如下结论：

(1) 列车牵引力取用系数，应根据不同的机车类型进行修正，甚至取消。对于可靠性不够高的老型机车，可以保留或者提高牵引力系数取值；对于新型的机车，如和谐型，动车组，可以提高或者取消牵引力使用系数；

(2) 采用不同列车编组时，列车的计算转动惯量系数与牵规推荐的标准差异很大。但在使用剩余加速度方法计算列车牵引质量时，转动惯量系数对计算结果的影响几乎可以忽略。

参考文献

[1] TB/T 1407-1998 (1998), 列车牵引计算规程[S]. 北京: 中国铁道出版社, 1998: 1-122.  
 [2] 饶忠. 列车牵引计算[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006: 12-60.  
 [3] 石红国. 线路纵断面化简对列车牵引质量计算时的影响分析[J]. 交通运输工程与信息学报, 2013, 11(4): 45-48.  
 [4] 黄问盈, 孙中央. 高速与重载列车3个牵引计算参数的界定值[J]. 铁道机车车辆, 2011, 31(4): 19-25.

(中文编辑: 吴继屏)

上接第17页

[6] 张国庆, 刘龙青. 基于时间的企业物流成本综合控制[J]. 物流技术, 2009, 28(11): 80-82.  
 [7] 吴会杰, 李菁. 我国仓储行业发展的现状、原因及对策分析[J]. 对外经贸实务, 2011, (8): 81-84.  
 [8] Lai K. H. Cheng T.C.E. Supply chain performance in transport logistics: an assessment by service providers [J]. International Journal of Logistics: Research and Applications, 2003, 6(3): 151-164.  
 [9] 应琴, 朱伏平. 合理规划作业场所提高企业物流效率[J]. 机电工程技术, 2005, 34(3): 81-82.  
 [10] 李扬, 欧阳斌, 齐悦, 等. 提高东北亚港口物流效率的战略与对策[J]. 交通建设与管理, 2007, 12(3): 42-49.  
 [11] Lai Kee-hung, Ngai E.W.T. Cheng T.C.E. An empirical study of supply chain performance in transport logistics [J]. International Journal of Production Economics, 2004, 87(3): 321-331.  
 [12] Sheu Jih-Biing. A novel dynamic resource allocation model for demand-responsive city logistics distribution operations [J]. Transportation Research E, 2006, 42(6): 445-472.  
 [13] Harrison A. Logistics management and strategy [M]. Pearson Education, Prentice Hall, 2002: 114-118  
 [14] Pietro Romano. Co-ordination and integration mechanisms to manage logistics processes across supply networks [J]. Journal of Purchasing and Supply Management, 2003, 9(3): 119-134.  
 [15] 刘莉. 供应链整合与企业竞争优势关系研究[J]. 中国流通经济, 2008(2): 30-33.  
 [16] 董烨然. 大零售商逆纵向控制合约选择与零供企业收益比较[J]. 管理世界, 2012(4): 115-124.  
 [17] Jovanovic B. Vintage capital and inequality[J]. Review of Economics Dynamics. 1998, 1(2): 497-530.  
 [18] 简泽. 企业间的生产率差异、资源再配置与制造业部门的生产率[J]. 管理世界, 2011, (5): 11-23.  
 [19] 简泽. 从国家垄断到竞争: 中国工业的生产率增长与转轨特征[J]. 中国工业经济, 2011(11): 79-89.

(中文编辑: 吴继屏)