

文章编号: 1006—2106(2010)10—0093—06

基于 CTCS—3级列控系统动车组列车自动过分相运行检算*

耿敬春**

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251)

摘要: 研究目的: 电分相设置位置是保证列车运营安全可靠的关键因素之一。本文重点研究信号系统、列控系统对供电系统中的接触网电分相设置位置的影响, 提出了基于 CTCS—3级列控系统动车组列车自动过分相的检算原则和模型; 为客运专线勘察设计提供一些有价值的研究成果。

研究结论: 根据检算原则, 建议仅开行单组(8辆编组)动车组的线路, 电分相距信号停车牌的最短距离应保证不小于 217.05 m; 开行重联(16辆编组)动车组的线路, 应保证不小于 431.05 m; 开行 200 km/h 重联动车组的线路, 当无法满足 431.05 m 要求时, 此范围内列车平均起动坡度不应大于 15.5‰。

关键词: 客运专线; 动车组; CTCS—3 电分相

中图分类号: U221 文献标识码: A

Checking Calculation of Auto-passing Phase Splitting by CTCS—3 — based EMU

GENG Jing-chun

(The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300251, China)

Abstract: Research purposes: The position of the electric phase splitting is one of the key factors for ensuring safe and reliable operation of train on passenger dedicated line. This paper mainly researches the influence of the signal system and train control system on locating the electric phase splitting and presents the calculation principles and analysis model for checking calculation of auto-passing phase splitting by the CTCS—3—based EMU for providing the reference to survey and design of passenger dedicated line.

Research conclusions: According to the calculation principles, for the track where only the single-unit EMU composed of 8 coaches runs, it is suggested that the minimum distance between signal and electric phase splitting should be not less than 217.5 meters. For the track where the twin-unit EMU composed of 16 coaches runs with speed of 200 km/h, the minimum distance between signal and electric phase splitting should be not less than 431.05 meters, and when the distance is not up to 431.05 meters, the average start gradient should be no more than 15.5‰.

Key words: passenger-dedicated line; EMU; CTCS—3; electric phase splitting

根据 2008 年颁布实施的《中长期铁路网规划(2008 年调整)》, 到 2020 年, 全国铁路营业里程达到

10 万 km。为实现 2020 年铁路网发展目标, 目前京津城际、石太、武广、郑西等客运专线均已建成投入使用;

* 收稿日期: 2010—05—14

** 作者简介: 耿敬春, 1981 年出生, 男, 工程师。

京沪、哈大、津秦、京郑等客运专线均已开工建设,设计最高行车速度为 350 km/h 采用 CTCS-3 级列控系统;客运专线是集线路、站场、桥梁、通信、信号、接触网等专业的综合系统,各专业以及专业之间的接口设计方案的好坏直接影响到列车的运营安全。本文将重点研究信号系统和列控系统对供电系统中的接触网电分相设置位置的影响,提出了基于 CTCS-3 级列控系统动车组列车自动过分相的检算原则和设置位置的建议。

1 动车组主要技术条件和受电弓组合方案

1.1 动车组主要技术条件

根据《时速 200 和 300 公里动车组主要技术条件》动车组主要有 CRH1、CRH2、CRH3 和 CRH5 四种类型,各种动车组的技术条件和参数各有差异。由于我国客运专线将采用不同速度等级列车共线运行的模式或相同速度等级列车共线运行的运输组织模式^[1],各线上可能会运行不同类型和不同编组方案(单组或重联)的动车组列车;因此,在进行接触网电分相设计时应满足不同类型和不同编组方案的动车组列车运行。各种型号的动车组主要技术参数^[2]如表 1 所示。

表 1 动车组主要技术参数表

动车组类型	CRH1	CRH2		CRH3	CRH5
速度等级 / (km·h ⁻¹)	200	200	300	300	200
编组方案	5动 3拖	4动 4拖	6动 2拖	4动 4拖	5动 3拖
牵引总功率 /kW	5 300	4 800	7 200	8 800	5 500
计算起动牵引力 /kN	325	175	234	300	325
定员载荷重量 /t	474	408.5	419.6	536	500
列车总长度 /m	214	201.4		200.67	211.5
受电工安装位置	2车、7车	4车、6车		2车、7车	3车、6车

注:上表为单组(8辆编组)动车组的技术参数。

1.2 受电弓升弓组合方案

单组动车组列车前后各一架受电弓,正常运行时仅升一架受电弓。主要技术参数如表 2 所示。

表 2 单组(8辆编组)动车组受电弓技术参数表

动车组类型	CRH1	CRH2	CRH3	CRH5
列车总长度 /m	214	201.4	200.67	211.5
受电工安装位置	2车、7车	4车、6车	2车、7车	3车、6车
两弓之间距离 /m	152	50	106.75	58.7
后弓距车头距离 (单组/后弓) /m	187.05	150.7	175.15	158.9

重联(16辆编组)运行时采用每一组车各升一架受电弓的运行方式,主要技术参数如表 3 所示。

表 3 重联(16辆编组)动车组受电弓技术参数表 (单位: m)

动车组类型		CRH1	CRH2	CRH3	CRH5
列车总长度		428	402.8	401.34	423
两弓之间距离	前弓—前弓	214	201.4	200.67	211.5
	前弓—后弓	366	251.4	307.42	270.2
	后弓—前弓*	61.5	151.4	93.9	152.8
	后弓—后弓	214	201.4	200.67	211.5
后车受电弓距车头距离 (重联/后弓)	前弓	267.55	302.1	250.365	289.1
	后弓	401.05	352.1	375.82	370.4

注: *后弓—前弓模式两弓距离小于接触网中性段长度 190 m 不作为运行升弓模式。

2 列车自动过分相原理

2.1 电分相设计概况

客运专线电分相采用带中性段的绝缘关节形式,主要有 6 跨、12 跨、13 跨、14 跨等主要方案;各方案分相范围、中性段范围以及无电区各异。以 13 跨为例说明各接触网杆柱间的关系,如图 1 所示;1 号~14 号柱间为电分相范围,2 号~13 号柱间为中性段范围,5 号~10 号柱间为无电区;电分相约为 670 m 中性段约为 560 m 无电区约为 250 m。

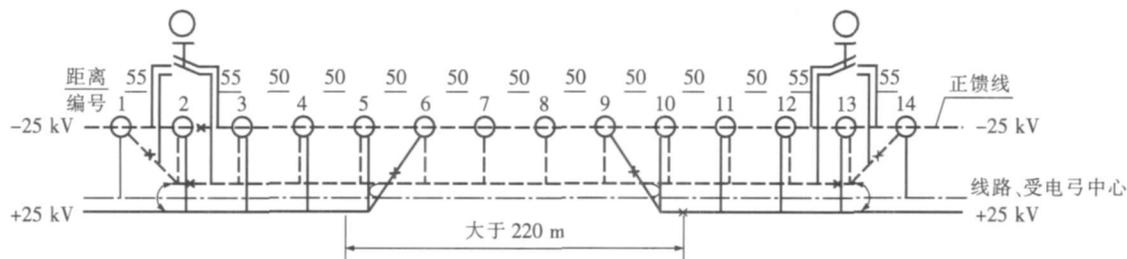


图 1 13 跨电分相示意图

2.2 列控系统自动过分相原理

根据 CTCS-3 级列控系统应答器应用原则^[3], 应答器向列控系统发送的分相区信息为分相区断电标志牌起点位置及长度信息, 如图 2 所示。

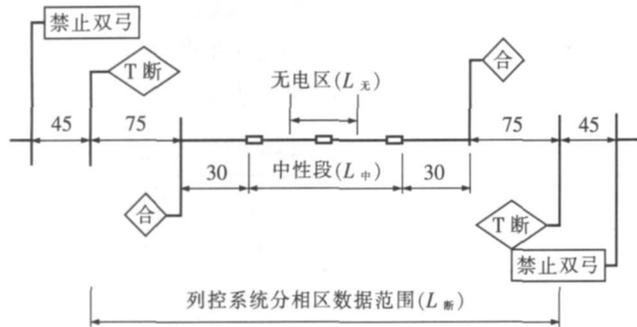


图 2 列控系统分相区数据范围示意图

$$L_{断} = L_{中} + 75 + 30 + 75 + 30 \text{ m} \quad (1)$$

式中 $L_{断}$ —— 列控系统接收分相区的长度 (m);

$L_{中}$ —— 电分相中性段长度 (m)。

动车组列车在正向运行时, 将有三组区间无源应答器组发送分相区信息; 第一组设置在分相区外方第 7 个闭塞分区入口处, 第二组设置在 20 s 外方最近的闭塞分区, 最后一组设置在 10 s 外方最近的闭塞分区, 如图 3 所示。

动车组列车运行至第一组、第二组、第三组应答器点时, 列控系统分别接收到应答器的预告地面分相数据, 控制装置向自动过分相控制装置发出过分相预告信号; 当运行至第三组应答器时, 列控系统根据当前的运行速度, 实时计算车头距离分相区距离与时间, 自动过分相控制装置根据系统和设备反应时间的要求, 适时控制电机电流平稳下降至 0 并发出断“主断”信号给控制电路, 控制电路控制断劈相机。动车组通过电分相后, 自动过分相控制装置送出合“主断”信号给控制电路, 控制电路控制合劈相机、合“主断”, 控制电机电流缓慢恢复到过分相前工况。

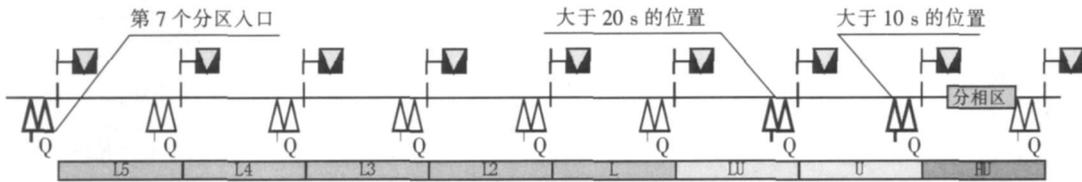


图 3 发送分相区应答器位置示意图

3 列车自动过分相检算

由于各条客运专线上存在运行多种类型动车组的可能, 因此在列车自动过分相检算时本着包容性设计的原则, 尽量满足各种类型的动车组运行。

3.1 满足动车组停车时受电弓均能取电

当动车组列车在非正常运行出现区间停车时, 为保证动车组列车在区间信号停车牌处停车, 电分相与信号停车牌之间需要间隔一定距离, 如图 4 所示。

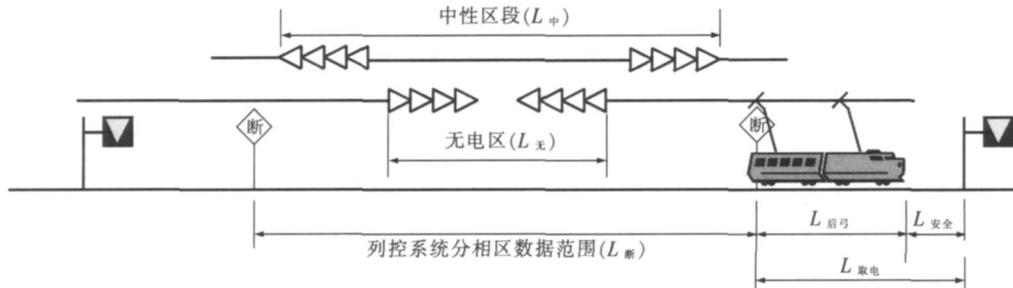


图 4 受电弓均能取电模式示意图

我国客运专线采用本线和跨线旅客列车共线运行的运输组织模式, 同一条客专上可能同时运行不同类型的动车组列车 (CRH1、CRH2、CRH3 或 CRH5)、不同编组方案 (8 辆编组或 16 辆编组) 和不同的受电弓

升弓模式。因此在进行电分相检算时, 本着兼容性设计原则, 应满足上述各种因素的要求。即在检算时应满足重联动车组 (16 辆编组) 前后车升起的 2 个受电弓均不落到分相区。

$$L_{\text{单组取电}} = L_{\text{后弓}} + L_{\text{安全}} \quad (2)$$

$$L_{\text{重联取电}} = L_{\text{后弓}} + L_{\text{安全}} \quad (3)$$

式中

$L_{\text{单组取电}}$ ——保证单组动车组列车停车后所有受电弓均能取电的距离 (m);

$L_{\text{重联取电}}$ ——保证重联动车组列车停车后所有受电弓均能取电的距离, (m);

$L_{\text{后弓}}$ ——单组动车组升起的后车受电弓距列车车头的距离, (m);

$L_{\text{重联后弓}}$ ——重联动车组升起的后车受电弓距列车车头的距离, (m);

$L_{\text{安全}}$ ——考虑列控系统或司机操作时的安全防护距离 (m), 一般取 30 m。

根据表 2、表 3 可知, 若仅运行单组 (8 辆编组) 动车组的线路, $L_{\text{单组取电}}$ 最小可取值 217.05 m; 若运行重联 (16 辆编组) 动车组的线路, $L_{\text{重联取电}}$ 最小可取 431.05 m; 对于某一特定的动车组选型确定的线路, 可根据表 2、表 3 和公式 (1)、公式 (2) 分别得到 $L_{\text{单组取电}}$ 、 $L_{\text{重联取电}}$ 值。

当受工程条件限制, 满足不了最小 $L_{\text{取电}}$ 要求时, 需要进行动车组停车后起动检算。

3.2 满足动车组停车后起动要求

客运专线正线最大坡度可达到 30‰^[1], 需要对动车组停车后起动检算。

$$G \leq \frac{F_q \lambda_y - \sum P (w'_q + i) g \times 10^{-3}}{(w''_q + i) g \times 10^{-3}} + \sum P \quad (4)$$

- 式中 G ——动车组计算质量 (t);
- F_q ——计算起动牵引力 (kN);
- λ_y ——牵引力使用系数;
- P ——动车计算质量 (t);
- w'_q ——动车起动的单位基本阻力 (N/kN);
- w''_q ——拖车起动的单位基本阻力 (N/kN);
- i ——计算起动坡度 (‰);
- g ——重力加速度, 9.81 m/s²。

由公式 4 计算得动车组的起动坡道如表 4、表 5 所示。

由表 4 知, 单组动车组最大起动坡道均大于 30‰; 每组动车组仅升一架受电弓, 升弓模式可采用前弓或后弓; 因此, 在开行单组动车组的线路上必须要保证 $L_{\text{后弓}}$ 的最小取值。对于重联动车组受工程条件限制

无法保证 $L_{\text{重联取电}}$ 时, 需要进行起动检算, 即需要检算前一组车有电、后一组车无电时的起动情况。由表 5 知, CRH1、CRH2 (200 km/h)、CRH2 (300 km/h)、CRH3、CRH5 最大起动坡度分别为 27.5‰、15.5‰、21.5‰、21.5‰、25.5‰; 对于特定动车组类型的线路, 可根据表 5 查得; 若动车组类型不确定, 则在进行电分相设置时应避免设在大于 15.5‰的坡道上。

表 4 单组 (8 辆编组) 动车组列车起动检算表

动车组类型	CRH1	CRH2		CRH3	CRH5
速度等级 / (km·h ⁻¹)	200	200	300	300	200
编组方案	5动 3拖	4动 4拖	6动 2拖	4动 4拖	5动 3拖
计算起动牵引力 / kN	325	175	234	300	325
定员载荷重量 / t	474	408.5	419.6	536	500
最大起动坡度 / ‰	> 30	> 30	> 30	> 30	> 30

表 5 重联 (16 辆编组) 动车组列车最大起动坡度表

动车组类型	CRH1	CRH2		CRH3	CRH5
速度等级 / (km·h ⁻¹)	200	200	300	300	200
编组方案	5动 11拖	4动 12拖	6动 10拖	4动 12拖	5动 11拖
计算起动牵引力 / kN	325	175	234	300	325
定员载荷重量 / t	948	817	839.2	1072	1000
最大起动坡度 / ‰	27.5	15.5	21.5	21.5	25.5

注: 前车受电弓有电, 后车受电弓无电。

3.3 动车组运行出电分相时速度不宜太低

如图 5 所示; 当动车组在区间非正常运行或从车站出发时, 动车组从停车牌 (①点) 或车站到发线上起动加速运行至②点, 而后进入电分相范围动车组惰行至③点, 而后继续加速牵引。为满足线路通过能力的要求, 应保证动车组在驶出电分相 (③点) 时具有较高的运行速度或对其驶出速度加以限制; 即要求动车组以较高速度驶入惰行区段, 也即要求其驶入电分相之前的牵引加速区段尽量长。

动车组运行过程合力模型如下:

$$G = \begin{cases} \sum F - W_0 & \text{牵引工况} \\ -W_0 & \text{惰行工况} \end{cases} = \begin{cases} \sum [-[\sum (Rw'_0) + (G - \sum P)\omega''_0 + G] g \times 10^{-3}] & \text{牵引工况} \\ -[\sum (Rw'_0) + (G - \sum P)\omega''_0 + G] g \times 10^{-3} & \text{惰行工况} \end{cases} \quad (5)$$

- 式中 G ——作用于动车组上的合力 (kN);
- W_0 ——动车组运行阻力 (kN);

$\sum F$ ——动车轮周牵引力, 多组动车牵引时为各动车牵引力的总和 (kN);

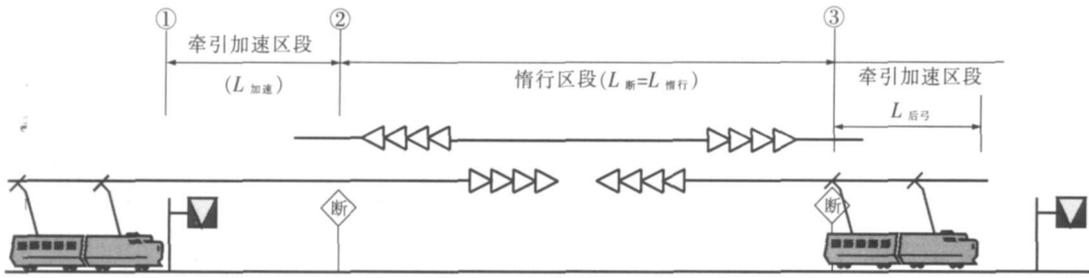


图 5 动车组牵引过分相示意图

ω'_0 ——动车单位基本阻力 (N/kN);

ω''_0 ——拖车单位基本阻力 (N/kN).

3.4 满足追踪间隔要求

最小追踪间隔时间是指相同性能的两列车在同一区间运行的追踪间隔时间、自同一车站出发的追踪间隔、到达同一车站的追踪间隔时间三者中的最大值。在列车正常运营时, 由于电分相设置形式、位置不同, 使得列车行车速度存在不同程度的损失, 从而对列车的最小追踪间隔时间存在不同程度的影响。

动车组列车的牵引工况与受电弓能否从接触网取电息息相关; 列车由牵引工况进入电分相后随即转入惰行工况, 速度开始逐渐下降, 延长了列车追踪间隔时间。因此, 当列车经过设置在区间的电分相时, 对两列车间的区间运行追踪间隔时间存在一定影响; 当列车从车站出发在起动加速过程中进入电分相时, 对列车车站出发的追踪间隔影响较区间运行追踪间隔时间要大; 电分相所处位置的上坡道越大, 对列车追踪间隔时间影响较大。

而动车组的制系统主要包括电制动和空气制动。当列车速度较高时, 一般实施电制动, 在低速时实施空气制动; 列车在进入电分相区段内, 电制动不会停止但会将再生的电流给辅助变流器供电, 并通过制动电阻器消散能量, 制动电阻器安装在车顶, 靠自然通风。因此, 动车组列车由制动工况进入电分相时, 列车的运行工况仍然维持制动工况。动车组列车从最高运行速度制动到车站停车的过程, 电分相设置基本对列车运行工况和运行速度无影响, 因此对车站的到达间隔时间基本无影响。对于大型车站受工程条件限制, 列车在进站过程中先从最高运行速度制动到曲线或道岔等限速值, 而后又转为牵引工况进入电分相时, 对列车的车站到达间隔亦存在一定的影响。

因此, 在进行电分相检算时应根据各电分相设计的具体情况, 进行牵引模拟仿真以核定两列车间的最小追踪间隔时间。

3.5 满足供电系统供电能力要求

根据高速客运专线采用的供电方式, 根据线路的设计平纵断面等基础数据, 通过列车牵引计算仿真模拟核定各供电分段耗电量; 结合变电所、分区所的设置方案以及线路平纵断面条件, 系统优化调整电分相设置位置, 满足供电系统供电能力和供电电压等的要求; 使动车组受电弓的平均有效电压 $U_{mean\ use\ fu}$ 达到规定值, 以达到动车组的性能得到充分发挥。

$$U_{mean\ use\ fu} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} U_{Ri} |I_{Ri}| dt}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} |I_{Ri}| dt} \quad (6)$$

- 式中 T_i ——第 i 列车积分或研究的时段;
 n ——模拟计算中的列车数量;
 U_{Ri} ——第 i 列车受电弓基本频率的 RMS 瞬间电压;
 $|I_{Ri}|$ ——第 i 列车受电弓处基波频率下的瞬时均方根值电流的模值。

根据式 (6) 核算受电弓的平均有效电压达到 22.5 kV 及以上时, 动车组才能发挥最佳性能。

3.6 上下行线尽量并行设置, 便于养护维修

为便于接触网养护维修和建设工程投资, 上下行线电分相设置位置应尽量并置; 满足客运专线维修“天窗”的分段开设, 以便于运输组织。在大型客运站进出站端或条件特别困难地段, 电分相并行设置无法满足运输要求时, 可结合工程条件, 上下行线电分相分开设置。

4 结论

在开行基于 CTCS-3 级列控系统的动车组的线路上, 本着兼容性设计的原则; 对于仅开行单组 (8 辆编组) 动车组的线路, 应保证不小于 217.05 m; 开行重联 (16 辆编组) 动车组的线路, 应保证不小于 431.05 m; 对于开行 200 km/h 和 300 km/h 重联动车组的线路, 如果无法满足的要求时, 那么至少应满足的要求并且

在的范围内列车平均起动坡度不应大于 15.5‰。在满足上述基本要求的前提下,还应进行列车牵引计算模拟仿真以核定两列车间的最小追踪间隔时间。对于某一动车组类型确定的特定线路,可根据文中给出的数据进入检算。

参考文献:

- [1] TB 10621—2009 高速铁路设计规范(试行)[S].
TB 10621—2009 Code for Design of High Speed Railway[S].
- [2] 中华人民共和国铁道部. 关于印发《时速 200 和 300 公里动车组主要技术条件》的通知[S].
Ministry of Railways of the People's Republic of China. A Notification in Respect of the Main Technical Parameters of Electric Multiple Unit of 200 km/h and 300 km/h[S].
- [3] 铁道部科学技术司,铁道部运输局. 关于印发《CTCS—3 级列控系统应答器应用原则(V1.0)》及专家评审意见的通知[S].
Science and Technology Department of the Ministry of Railways; Transport Department of the Ministry of Railways. A Notification in Respect of the Applied Principle of Balise Based on CTCS—3 and Expert Advice[S].
- [4] 张中央. 列车牵引计算[M]. 中国铁道出版社, 2006
Zhang Zhongyang. Computation of Train Traction[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2006
- [5] 毛保华. 列车运行计算和设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008
Mao Baohua. Computation and Design of Train Traction[M]. Beijing: China Communications Press, 2008
- [6] 唐伟强, 张继清. 天津地下直径线最大坡度研究[J]. 铁道工程学报, 2008(2): 89—93
Tang Weiqiang, Zhang Jiqing. Research on the Maximum Grade of Tianjin Underground Diameter Line[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008(2): 89—93
- [7] 苏梅. 客货共线铁路隧道内最大坡度设计浅析[J]. 铁道工程学报, 2009(8): 73—76
Su Mei. Analysis of Design of the Maximum Track Gradient in Tunnel for Mixed Passenger and Freight Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(8): 73—76
- [8] 陈亮. 贵阳至广州线线路最大坡度方案比选[J]. 铁道工程学报, 2008(8): 18—22
Chen Liang. Scheme Alternative of Maximum Route Gradient on Guiyang—Guangzhou Railway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2008(8): 18—22
- [9] 季学胜, 李开成, 杨悌惠. CTCS—3 级列控系统的系统评估研究[J]. 铁道通信信号, 2009(6): 1—5
Ji Xuesheng, Li Kaicheng, Yang Tiwei. System Assessment of CTCS Level 3 Train Control System[J]. Railway Signaling & Communication, 2009(6): 1—5
- [10] 刘波, 韩彦辉. FLAC原理、实例与应用指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005
Liu Bo, Han Yanhui. Principles, Case and Using Guide of FLAC3D[M]. Beijing: China Communications Press, 2005
- [11] Lee T K G. Three-dimensional numerical studies of NATM tunneling in stiff clay[D]. Hong Kong: Hong Kong University, 2003
- [12] Itasca Consulting Group Inc. FLAC3D (Fast Lagrangian Analysis of Continua in three-dimensional) User Manuals (Version 3.0)[R]. Minneapolis, Minnesota: Itasca Consulting Group Inc, 2005
- [13] 徐干成, 等. 地下工程支护结构[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002
Xu Gancheng, et al. Anchor Supporting System of Underground Engineering[M]. Beijing: Chinese Water Power Press, 2002
- [14] 李亚武. 岩溶地基处理技术[J]. 铁道工程学报, 2002(4): 44—49
Li Yawu. Technique on Treatment of Karst Foundation[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2002(4): 44—49
- [15] 铁建设函[2005]754号, 客运专线无砟轨道铁路设计指南[S].
TJSH[2005] No. 754 Design Guide for PDL Ballastless Track Engineering[S].

(编辑 曹淑荣)

(编辑 曹淑荣)