

文章编号: 1006 - 2106(2012) 02 - 0072 - 06

小线间距单渡线安全性研究^{*}

徐彩彩^{**} 刘道通 田苗盛

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251)

摘要: 研究目的: 因盘活闲置国有资产的迫切需要, 某些城市的城市轨道交通线路工程, 利用地下既有设施, 因其线间距比较小, 加大线间距困难, 维持原有线间距将成为工程的首要选择。规范规定单渡线线间距不应小于一定数值。哈尔滨市轨道交通一期工程利用既有人防隧道工程, 受限界限制, 线间距定为 3.4 m。根据要求, 分别在两个既有站设置了 3.4 m 线间距单渡线。“小线间距”单渡线, 在设计、铺设、营运以及养护维修等方面经验甚少, 因此除了需要研究渡线结构安全性以外, 还必须分析研究其在各种运行位置时脱轨或者脱钩危险性, 确保列车安全通过。

研究结论: (1) 车辆通过 3.4 m 线间距单渡线时, 转向架最不利位置的转动角度在转向架结构性能允许范围内。车钩最不利位置的转动角度、伸缩量在车钩结构性能允许范围内。(2) 3.4 m 单渡线侧向运行时不载客的情况下, 车速不宜超过 20 km/h; 侧向有载客需要的情况下, 车速不宜超过 15 km/h。

关键词: 小间距; 单渡线; 车辆参数; 安全性; 研究

中图分类号: U231 + .2 **文献标识码:** A

Research on Security of Single Junction Track with Small Track Spacing

XU Cai - cai LIU Dao - tong , TIAN Miao - sheng

(The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation , Tianjin 300142 , China)

Abstract: Research purposes: For re - using the idling state - own assets , the existing underground facilities are used for the some urban rail transits. As the track spacing is small and it is difficult to increase the track track spacing , the existing track spacing has to be reserved , but the relative code requires that the track spacing of the single junction track should not be less than the certain value. The defence tunnel was used for the first phase project of Harbin rail transit and its track spacing was determined as 3.4 m due to the limitation bounds. According to the requirements , the single junction tracks with 3.4m track spacing were installed in the two existing stations. At that time , there was a little experiments of designing , laying , operating and repairing the single junction track with small track spacing. Therefore , besides being necessary to research the security of the junction track structure , it was necessary to analyze and research the derail and its risks of the train at the different running positions to ensure the train safety.

Research conclusions: (1) When the train passes through the single junction track with small track spacing , the rotation angle of the bogie on worst position was in the allowable range of the bogie structure property. The rotation angle and stroke of the train couple on the worst position were in the allowable range of the train couple structure property. (2) The train speed did not exceed the 20 km/h when the train run on the single junction track with 3.4 m track spacing in side direction without passenger. The train speed did not exceed the 15 km/h when the train run on the single junction track with 3.4 m track spacing in side direction with passenger.

Key words: small track spacing; single junction track; vehicle parameters; security; research

^{*} 收稿日期: 2011 - 10 - 37

^{**} 作者简介: 徐彩彩, 1986 年出生, 女, 助理工程师。

1 城市轨道交通工程单渡线设置

1.1 单渡线的设置

单渡线即两正线(左右线)的两组反向单开道岔用连接线相连而成,可作为两线间相互转线用。城市轨道交通线路工程辅助线及配线设计,应根据《地铁设计规范》(GB 50157—2003)(以下简称《地规》)第 3.4.2 条规定“当两个具备临时停车条件的车站相距很远时,根据运营需要,宜在沿线每隔 3~5 个车站加设停车线或渡线”。

1.2 单渡线线间距

1.2.1 满足《地规》插入短钢轨要求的单渡线线间距

目前城市轨道交通正线铺设的道岔有 9 号、12 号,车辆段铺设的道岔有 7 号,单渡线两道岔间插入短钢轨

的最小长度应满足《地规》表 6.4.2 “道岔间插入短钢轨最小长度”的要求,如图 1 所示。

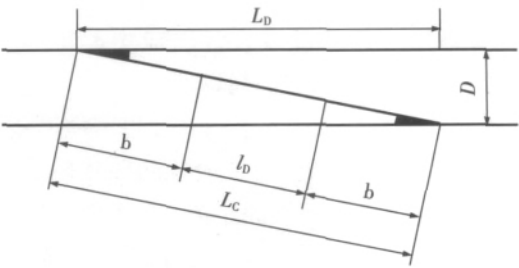


图 1 单渡线插入短钢轨示意图

单渡线满足《地规》插入短钢轨 l_D 要求时的最小线间距 D 值,如表 1 所示。

表 1 单渡线两单开道岔插入最短钢轨时线间距

线路级别	道岔号数	尖轨类型	导曲线半径/m	道岔后端长 b/mm	插入短钢轨长度 l_D/mm	最小线间距 D/mm
正 线	9	直线 曲线	180 200	15 730	6 250	4 200
					4 500	4 000
	9	曲线	180	16 067	6 250	4 300
					4 500	4 100
	12	曲线	350	21 054	6 250	4 100
					4 500	3 900
车场线	7	曲线	150	12 433	4 500	4 200
					0	3 600

注: D 值按 100 mm 取整

1.2.2 满足夹直线长度大于车辆全轴距要求的单渡线线间距

当单渡线线间距不能满足《地规》插入短钢轨 L_D 要求(表 1)时,在列车通过单渡线侧向时,夹直线长度

应大于车辆全轴距,即车辆的前车轮驶入第二组单开道岔的导曲线时,该车辆的后车轮已离开第一组单开道岔的导曲线。其单渡线线间距应满足表 2 要求。此时,单渡线在结构上一般可不作任何改进和加强。

表 2 单渡线两单开道岔夹直线等于车辆全轴距时最小线间距

线路级别	道岔号数	尖轨类型	导曲线半径/m	车辆类型	道岔中心至辙叉 理论中心距 b_0/mm	辙叉前直线 插入段 K/mm	最小线间距 D $/\text{mm}$
正 线	9	直线	180	A 型	12 955	2 058	4 200
	9	曲线	180		12 955	2 985	4 000
	9	曲线	200		12 955	1 878	4 200
	12	曲线	350		17 250	2 548	3 800
车场线	7	曲线	150		10 096	1 282	4 800
正 线	9	直线	180	B 型	12 955	2 058	3 800
	9	曲线	180		12 955	2 985	3 600
	9	曲线	200		12 955	1 878	3 900
	12	曲线	350		17 250	2 548	3 500
车场线	7	曲线	150		10 096	1 282	4 300

注: D 值按 100 mm 取整

我国城轨交通运行的车辆全轴距: A 型车 15 700 mm;
B 型车 12 600 mm。

单渡线线间距小于表 1、表 2 数值时,应视为“小线间距”单渡线。该单渡线设计时应引起足够重视,确保其营运安全性及结构的稳定性。

某些城市的城轨交通线路工程,利用地下既有设施,其线路的线间距已定形,一般线间距比较小,对其加大存在困难,维持原有线间距成为工程的首要选择。单渡线如能设置与正线相同的小线间距则具有较好的综合经济效益。

2 3.4 m 线间距单渡线设计

2.1 3.4 m 线间距单渡线的设置

哈尔滨市轨道交通一期工程,线路全长约 17.4 km,全部为地下线,其中利用既有人防隧道工程约 5.4 km。利用既有人防隧道工程,是为了盘活闲置国有资产的迫切需要。经专业部门检测,隧道结构强度具有相当的安全储备,限界满足运营要求,经加固可作为一期工程的一部分,短期内即可形成一条运营线路,给一期工程提供了最大优势和最好的基础条件。

既有人防隧道工程是 1973 年根据战备需要,按我国早期地铁标准设计修建的单洞双线马蹄形隧道,受限界限制,线间距定为 3.4 m。根据要求,分别在两个既有站设置了 3.4 m 线间距单渡线。

3.4 m 线间距单渡线,视为“小线间距”单渡线。以此为例对其主要尺寸及设计参数进行介绍。

2.2 3.4 m 线间距单渡线主要尺寸

2.2.1 组成单渡线的两单开道岔主要尺寸

道岔全长: $L_Q = 27\ 773$ mm,如图 2 所示;
导曲线半径: $R = 200$ m;
道岔前端长: $a = 12\ 043$ mm;
道岔后端长: $b = 15\ 730$ mm;
道岔中心至辙叉理论尖端距: $b_0 = 12\ 955$ mm;
辙叉前直线段长: $K = 1\ 878$ mm;
辙叉趾距: $n = 1\ 538$ mm;
辙叉跟距: $m = 2\ 771$ mm;
辙叉角: $\alpha = 6^\circ 20' 25''$ 。

2.2.2 单渡线主要尺寸

线间距: $D = 3\ 400$ mm,如图 3 所示;
单渡线全长: $L_Q = 54\ 686$ mm;
两单开道岔岔心水平距: $L_d = 30\ 600$ mm;
两单开道岔岔心斜距: $L_c = 30\ 788$ mm;

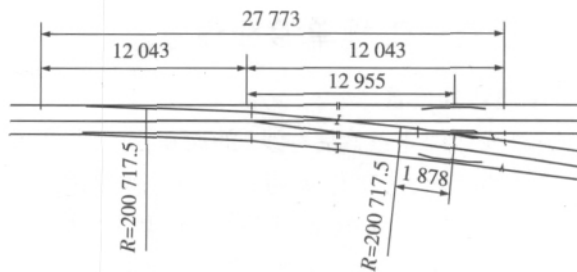


图 2 单开道岔示意图(单位: mm)

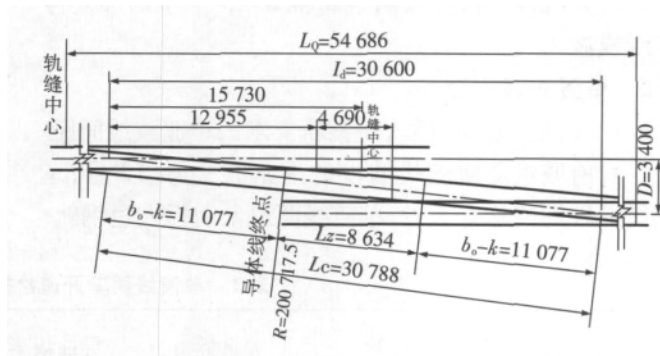


图 3 单渡线主要尺寸示意图(单位: mm)

两单开道岔辙叉跟端导程: $l_H = L_c - 2b = -672$ mm;
单渡线夹直线长度: $l_z = L_c - 2(b_0 - K) = 8\ 634$ mm;
单渡线夹直线长度小于车辆全轴距 12 600 mm。

3 3.4 m 线间距单渡线主要设计参数及通过速度

道岔设计常用的基本参数有以下三项:

ω ——动能损失;

α ——未被平衡的离心加速度;

ψ ——未被平衡的离心加速度增量(《地规》称为 β ,为论述方便,以下统称 β)

确定道岔设计参数允许值的目的是为了给列车通过道岔侧线时的不利因素一定的限制标准,将危害性控制在一定的程度内。

ω 、 α 、 β 表示进入道岔侧股时产生的横向力对列车的影响。比如:列车运行的稳定性(如过大可能造成车轮爬轨)、乘客舒适度(乘客产生不良感觉)、道岔结构的安全性(缩短道岔使用寿命)等。

因此,3.4 m 线间距单渡线设计时,各项参数不能超过现行规定的允许值,并用各项参数检算容许通过速度,如表 3 所示。

无论采用何种标准的道岔设计参数进行理论计算,认为 3.4 m 单渡线允许通过速度按 30 km/h 计是安全的。

表 3 容许通过速度表

标准名称		《60 kg/m 钢轨 9 号单开道岔》标准		《地铁设计规范》规定		《城市轨道交通建设和运营规范》规定	
设计参数/(m/s ²)		α	β	α	β	α	β
		0.47	0.36	0.4	0.3	0.4	0.5
允许通过速度/(km/h)	两端单开道岔	35	35	32.2	32.8	32.2	38.9
	连接部分(侧向)	35	32.9	32.2	31	32.2	36.7

4 3.4 m 线间距单渡线动力计算

为了验证“小线间距”单渡线的安全性,进行了道岔动力学计算,进一步从动力学角度给予初步评估。评估指标包括车辆通过道岔时,道岔区的最大轮轨垂向力和横向力分布、安全性系数(脱轨系数和减载率)、道岔振动加速度等等。

鉴于城轨交通营运特点,车辆的动力学性能评定可以参照《铁道车辆动力学性能评定和实验鉴定规范》(GB 5599—85)的指标进行计算。

通过道岔系统模型、车辆系统模型以及道岔随机不平顺检算,得出以下结论:

当通过道岔的速度超过 25 km/h 后,辙叉位置的轮重减载率超过了相应的安全限度要求,需要降低通过速度。

单渡线通过速度不应大于 25 km/h; 正常运营速度应维持 20 km/h 左右(参阅《60 km/h 钢轨 9 号道岔 3.4 m 间距单渡线动力计算报告》中铁咨询轨道工程设计研究院 2008.12)。

因此 3.4 m 线间距单渡线侧向允许通过速度在

不载客的情况下不宜超过 20 km/h。

5 列车通过 3.4 m 线间距单渡线侧向时转向架及车钩状态

5.1 3.4 m 线间距单渡线营运安全

列车通过 3.4 m 线间距单渡线侧向时,还要分析研究列车在各种运行位置,车辆转向架及车钩几何状态是否适应单渡线,有无脱轨或者脱钩危险,确保列车安全通过。

以三节车辆组成的列车为例(三节以上车辆时,情况基本相同),进行检查:

(1) 前后三节车辆行驶至单渡线侧向时,转向架最不利位置的转动角度是否在转向架结构性能范围内。

(2) 前后三节车辆行驶至单渡线侧向时,车钩最不利位置的转动角度、伸缩量是否在车钩结构性能范围内。

5.2 运行车辆性能参数

哈尔滨轨道交通一期工程运行车辆为 B2 型,其转向架及车钩性能参数,如表 4 所示。

表 4 B2 型车辆参数

名称	数值	名称	数值
轴重	14 t	轮缘最小厚度	23 mm(考虑磨损限度)
转向架中心距	12 600 mm	轮对内侧距及公差	1 353 ± 2 mm
固定轴距	2 200 mm	轮辋宽	135 mm
车轮半径	770/2 ~ 850/2 mm(磨损 ~ 最大)	轮对内侧距承载弯曲后变化值	1 mm
车钩中心距	19 520 mm	转向架最大转动角度	7°(过曲线时轮对相对于车体的转动角度)
车长	头车: 19 860 mm; 中间车: 9 000 mm	车钩最大转动角度	水平转角 ± 35° 垂向转角 ± 4° (过曲线时相对于车体的转动角度)
车宽	2 800 mm	车钩纵向伸缩量	0 ~ 110 mm
轮缘最大厚度	32 mm(新轮)	轮对横向游动量	10 mm

5.3 各种工况下轮轨关系及车钩位置

当车辆运行至 60 kg/m 钢轨 9 号道岔 3.4 m 线间距单渡线侧向时,各种工况布置说明如下:

因 3.4 m 单渡线长度约为 60 m,可布置 3 辆车连挂组成列车,进行平面布置,如图 4 所示,检查转向架及车钩状态。

5.3.1 工况一

中间车体前后转向架,分别位于前后反向曲线上,对称于夹直线。

该工况下车钩水平最大转角小于限值 ± 20° 的要求;车钩伸缩量小于限值 110 mm 的要求。转向架水平最大转角为小于限值 ± 7° 的要求。

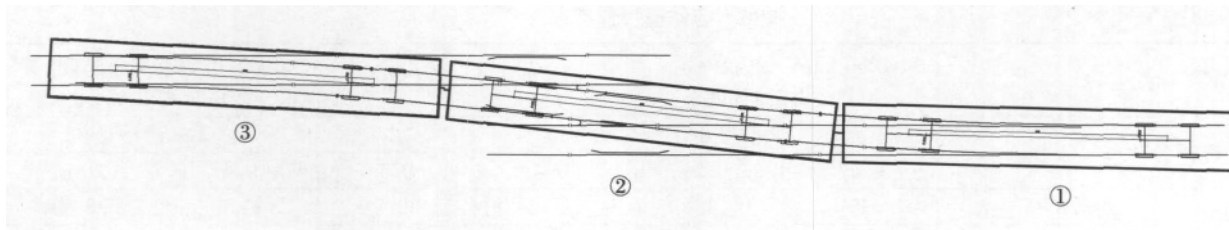


图4 车辆平面布置示意图

5.3.2 工况二

车辆整体向右移动,中间车体后转向架刚刚脱离后曲线。

该工况下车钩水平最大转角小于限值 $\pm 20^\circ$ 的要求;车钩伸缩量小于限值 110 mm 的要求。转向架水平最大转角小于限值 $\pm 7^\circ$ 的要求。

5.3.3 工况三

车辆整体向右移动,中间车体后转向架尚未进入前曲线。

该工况下车钩水平最大转角小于限值 $\pm 20^\circ$ 的要求;车钩伸缩量小于限值 110 mm 的要求。转向架水平最大转角小于限值 $\pm 7^\circ$ 的要求。

5.3.4 工况四

车辆整体向右移动,②、③车体间的车钩中心点位于夹直线中央。

该工况下车钩水平最大转角小于限值 $\pm 20^\circ$ 的要求;车钩伸缩量小于限值 110 mm 的要求。转向架水平最大转角小于限值 $\pm 7^\circ$ 的要求。

5.3.5 工况五

车辆继续向右前进,车体②的两个转向架均位于前曲线上。

该工况下车钩水平最大转角小于限值 $\pm 20^\circ$ 的要求;车钩伸缩量小于限值 110 mm 的要求。转向架水平最大转角小于限值 $\pm 7^\circ$ 的要求。

5.3.6 工况六

车辆继续向右前进,车体②的前转向架已进入直线段。

该工况下车钩水平最大转角小于限值 $\pm 20^\circ$ 的要求;车钩伸缩量小于限值 110 mm 的要求。转向架水平最大转角小于限值 $\pm 7^\circ$ 的要求。

5.3.7 工况七

车辆继续向右前进,③号车后转向架进入夹直线。

该工况下车钩水平最大转角小于限值 $\pm 20^\circ$ 的要求;车钩伸缩量小于限值 110 mm 的要求。转向架水平最大转角小于限值 $\pm 7^\circ$ 的要求。

综上所述七种工况,3 辆车连挂在单渡线侧向上平面布置均能满足车辆各部件参数要求。说明,在一

定速度下,3 辆车连挂可安全通过该单渡线侧向。因此,在营运初期有载客需求的情况下,侧向通过该单渡线时,车辆减速至 15 km/h,可以确保车辆安全通过。

6 结论

当设置单渡线地段线间距满足《地规》插入短钢轨 L_D 要求时,可采用与正线一致的线间距;不满足《地规》插入短钢轨 L_D 要求时,应检算两组单开道岔间夹直线长度,如不小于车辆全轴距,可采用表 2 单渡线线间距;当设置单渡线地段线间距不能满足表 1 及表 2 要求时,该线间距被视为“小线间距”。

“小线间距”单渡线应在检算单渡线行车稳定性、安全性的基础上,提出限速要求以保证行车安全。(1) 车辆通过 3.4 m 线间距单渡线时,转向架最不利位置的转动角度在转向架结构性能允许范围内。车钩最不利位置的转动角度、伸缩量在车钩结构性能允许范围内。(2) 3.4 m 单渡线侧向运行时不载客的情况下,速度不宜超过 20 km/h;若侧向有载客需要的情况下,为确保乘客安全,应减速通过,其速度不宜超过 15 km/h。城轨交通在我国大中城市正在蓬勃发展,“小线间距”单渡线在特定条件下应用,有一定现实意义,但是尚缺乏营运实践支持。设计时应注意加强结构、检算其安全性,逐渐优化设计。营运初期通过速度适当降低,积累养护维修等方面经验,逐渐提高通过速度,满足营运要求。

参考文献:

- [1] GB 50157—2003 地铁设计规范[S].
GB 50157—2003, Code for Design of Metro[S].
- [2] 建标 104—2008 城市轨道交通工程建设标准[S].
Construction Standard 104—2008, Construction Standard for Urban Rail Transit Engineering[S].
- [3] TB 10082—2005, J448—2005 铁路轨道设计规范[S].
TB 10082—2005, J448—2005, Code for Design of Railway Track[S].
- [4] TB/T 2477—2006 铁路道岔的容许通过速度[S].
TB/T 2477—2006, The Tolerated Through Speed of Trains Running at Railway Turnout[S].

- [5] GB 5599—85, 铁道车辆动力学性能评定和实验鉴定规范[S].
- GB 5599—85, Dynamic Performance Evaluation and Test Appraisal for Railway Vehicles [S].
- [6] 刘学毅, 王平. 车辆—轨道—路基系统动力学[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.
- Liu Xueyi, Wang Ping. Vehicle—Track—Subgrade System Dynamics [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Publishing House, 2010.
- [7] 中铁咨询轨道工程设计研究院. 60 km/h 钢轨 9 号道岔 3.4 m 间距单渡线动力计算报告[R]. 北京: 中铁咨询轨道工程设计研究院, 2008.
- Railway Track Engineering Design and Research Institute Advisory. Single Crossover with 3.4m Distance between Centers of Lines of No.9 Turnout with 60 kg/m Rail [R]. Beijing: Railway Track Engineering Design and Research Institute Advisory, 2008.
- [8] 于春华. 城轨交通单渡线合理线间距的探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2007(4): 52—53.
- Yu Chunhua. Right Distance between Tracks of Single Crossover in URT [J]. Urban Mass Transit, 2007(4): 52—53.
- [9] 于春华, 刘道通. 地铁 3.4 m 线间距单渡线总体方案研究[J]. 铁道工程学报, 2006(9): 68—73.
- Yu Chunhua, Liu Daotong. Research on Overall Program of Laying Single Crossover with 3.4 m Distance between Centers of Lines for Metro [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2006(9): 68—73.
- [10] 于春华, 杨其振. 对 GB 50157—2003 <地铁设计规范> 部分条文的体会和建议[J]. 城市轨道交通研究, 2006(11): 74—75.
- Yu Chunhua, Yang Qizhen. Experiences and Suggestions of the Code for Design of Metro (GB 50157—2003) [J]. Urban Mass Transit, 2006(11): 74—75.

(编辑 曹淑荣)

(上接第 71 页)

间的联系, 解决城市轴向交通问题, 同时通过该组团内站点的设置形成换乘枢纽, 然后通过放射状公交线路辐射各组团内部发展, 因此河谷型城市轨道交通站点的设置既要照顾轴向客流快捷交流又要照顾横向辐射客流便捷换乘。

4.6 车辆段位置选择

轨道交通车辆段一般都位于城市范围内, 其用地一般从十几公顷到几十公顷, 如此大规模的用地, 受城市规划、建设条件和工程地质等方面的影响较大, 因此地铁车辆段的选址一直是地铁建设方面的难题之一, 对于河谷型城市来说, 城市用地本来就极为紧张, 因此车辆段选址困难的问题尤为显著。根据线路走向情况, 选择合理的车辆段位置, 在河谷型城市中要比平原型城市更为复杂和难以协调, 因此在河谷型城市轨道交通选线过程中, 要根据车辆段位置综合考虑线路的起终点位置和敷设形式。

5 结论

河谷型城市由于受地形条件的制约比较明显, 道路资源利用比较紧张, 轨道交通线路布设的合理与否直接关系到城市交通运行效率的好坏。本文通过对河谷型城市交通特点的分析, 结合兰州市快速轨道交通线网规划, 对河谷型城市轨道交通线路设计要点进行了总结, 提出了河谷型城市线路设计中应重点考虑的控制因素, 为国内其他同类城市轨道交通线路设计要点和技术提出探讨性意见。

参考文献:

- [1] GB 50157—2003 地铁设计规范[S].
- GB 50157—2003, Code for Design of Metro [S].
- [2] 欧阳全裕. 地铁轻轨线路设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- Ouyang Quanyu. Metro Light Rail Track Design [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2007.
- [3] 施仲衡, 张弥, 等. 地下铁道设计与施工[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2002.
- Shi Zhongheng, Zhang Mi, etc. Design and Construction of Subway [M]. Xi'an: Shanxi Science and Technology Press, 2002.
- [4] 中铁第一勘察设计院集团有限公司. 兰州市快速轨道交通线网规划[R]. 西安: 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 2010.
- China Railway First Survey and Design Institute Group Ltd. Planning of Lanzhou Urban Rail Transit Network [R]. Xi'an: China Railway First Survey and Design Institute Group Ltd, 2010.
- [5] 杨志团. 兰州市轨道交通规划与规模的科学制定[J]. 铁道工程学报, 2010(8): 91—95.
- Yang Zhituan. Scientific Mapping Out Plan and Scale of Urban Rail Transit in Lanzhou [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010(8): 91—95.

(编辑 吕洁)