

音乐公路弯道优化设计探索

Design Exploration on Optimal Curve Technology of Roadway with Sound Tracks

李 胜 冯 星 陈 坤
Li Sheng FENG Xing CHEN Kun

文章编号: 1000-0283 (2020) 04-0024-07
DOI: 10.12193/j.laing.2020.04.0024.004
中图分类号: TU986
文献标识码: A
收稿日期: 2020-01-19

摘要

以日本为代表的发达国家对风景道、声景观的研究和建设,极大地促进了中国音乐公路的发展。但由于国内技术落后与缺乏相关经验,导致音乐道路尤其是弯道上出现设计的缺陷。本文通过分析音乐公路成音的基本原理,提出音乐公路弯道路面的理论与实际优化设计方法;尤其由于弯道两侧的长度不等、汽车两侧轮胎速度差的原因,实际施工过程中要注意凹槽间距与宽度需随着弯道弧度而进行变化。

关键词

音乐公路;弯道技术;风景园林;设计探索

Abstract

The research and construction of scenic roads and acoustic landscapes in developed countries represented by Japan have significantly promoted the development of China's music highway. However, due to the lack of domestic technology and lack of relevant experience, design flaws in music roads, especially in curves. This article analyzes the basic principles of music road sounding and proposes the theory and practical optimization design method of the curved road surface of music road. Primarily due to the unequal length of the two sides of the curve and the difference in tire speed on both sides of the car, the actual construction process needs to Note that the groove pitch and width need to change with the curve arc.

Key words

roadway with sound tracks; curve construction technology; landscape architecture; design exploration

李 胜

1978年生/男/浙江平阳人/硕士/浙江农林大学风景园林与建筑学院副教授,浙江农林大学园林设计院有限公司副总工,硕士生导师/研究方向为风景园林工程技术与生态修复(杭州311300)

冯 星

1994年生/男/江西南昌人/硕士/浙江农林大学风景园林与建筑学院/研究方向为风景园林技术科学(杭州311300)

陈 坤

1996年生/男/浙江杭州人/浙江农林大学园林设计院有限公司(杭州311300)

1 国内外音乐公路发展状况

1.1 国外音乐公路的发展

1984年,法国人Schmidt Alex,提交了一项关于汽车道路路面产生音乐的发明,并于1988年5月获得法国专利局批准。发明人在道路上塑造等间隔的凹陷或凸起,并将其以直线、曲线、虚线或网格的方式进行平面布置;使用汽车的速度、凹陷或凸起的等距离布置,计算汽车产生的周期性频率,并将其与歌曲中某个音符的音频频率相对应,实现对应音符音频的发出。同时发明人还较为周全地考虑了不同布置形式:采取凹陷或凸起变化,在垂直于道路方向上布置多条等宽但不同凹陷(或凸起)尺度的路面结构,使得驾驶人可以选择不同音符的组合^[1]。



1. 北海道标津町町道音乐公路
2. 河南省长葛市音乐公路

2004年11月, 篠田兴业公司在日本北海道标津町町道, 建设成世界上第一条真正意义上的音乐道路(图1), 并实现通车。其全长500 m, 以“知床旅情”为演奏曲。该公司通过在道路上切割等间隔的方形凹槽, 其单位凹槽尺寸与凹槽间隔构成的振动波长由汽车速度除以目标音符频率得到。篠田静男2005年将音乐道路的建设方法申请专利, 并于2006年获得国际专利的批准, 2011年获得日本专利的批准, 同时在2005年将Melody road申请了商标专利, 2006年获得批准^[2-5]。

随后音乐道路建设进入发展高峰时期, 日本、韩国、美国、中国等主要国家开始陆续建设音乐道路, 尤其以日本居多, 达到30多条音乐道路, 分布于日本全国各地^[6]。中国也已经建设了五处音乐道路。以上井喷式的实例建设, 意味着音乐道路路面建设已经迎来了新的发展时期。

2019年7月, 在加拿大蒙特利尔举办的第26届国际声与振动大会(ICSV)上, Alex Tucker等人再一次就音乐道路路面结构设置进行了研究。比较了当前三种路面结构设计方案: 正弦型沥青路面轮廓线; “两级”沥青路面轮廓线; “三级”沥青路面轮廓线。利用汽车行驶产生的振动音频, 使用MATLAB对记录的振动进行分析, 计算每个孤立音符的FFT。得出“两级”沥青路面轮廓线(即在路面进行垂直割槽或凸起的道路形式)中国固定的凹槽宽度与固定凹槽间距不相等时, 是综合施工便易性与发声效果的最好实施方案, 虽然其固定的凹槽宽度与固定的凹槽间距相等时, 发声效果优于前者不相等的情况, 但由于后

者会导致凹槽宽度在每个音符间产生变化, 不易于施工, 因此不作为常用方案^[7]。

综上所述, 国外音乐道路经过数十年的理论发展, 以日本建设第一条音乐道路为代表, 才真正把音乐公路建设推到了前台, 极大地促进了其在世界各国的建设发展, 推动了音乐道路的繁荣发展。

1.2 国内音乐公路的发展

中国的音乐道路路面技术研究在借鉴日本等国外的专利技术基础上, 现今具有一定的理论积淀, 但其理论实践验证刚开始起步, 设计、施工、机械、工序仍在磨合阶段, 其中的问题和难题还需要各方专业人士共同解决。

在声景观设计方面, 国内声景观自身处于发展阶段, 同时更多的是集中于公园等面状区域的评价研究^[8-9]。声景观理论研究涉及到道路景观设计的相关研究较少, 而其中属于声景观中的分支——音乐道路景观营造就更未开始系统研究。加上声景观对道路交通噪声控制具有积极作用, 是道路交通噪声控制的发展方向, 音乐道路发展还是具有广泛的应用前景。

在建设实例方面, 直到2013年, 北京路新大成景观建筑工程有限公司在日本篠田兴业公司专利授权及技术帮助下, 才于河南省长葛市建成国内首条音乐道路^[10](图2)。并相继在2014年于山东省烟台市(图3)、2016年于北京市千灵山景区建设了全国第二条与第三条音乐道路^[11-12](图4)。除此之外, 2019



3. 山东省烟台市音乐公路
4. 北京市千灵山景区音乐公路
5. 线路宽窄不一
6. 线路歪斜
7. 凹槽局部深度不均

年，枣庄市顺达公路工程有限公司在山东省枣庄市山亭区冯卯岩马湖景区建设了与全国第三条音乐道路相同的音乐曲目——《歌唱祖国》的全国第四条音乐公路。同年北京路新大成景观建筑工程有限公司在新疆木垒哈萨克自治县马圈湾风景区建成曲目为《新疆是个好地方》的全国第五条音乐公路^[13]。

1.3 国内外音乐公路发展现状小结

通过国内外研究现状发现，音乐道路路面建设技术已经具有一定的积累，国内外具有较多的建设案例，其中以日本为代表的发达国家对于风景道与声景观研究，极大地促进了风景道与声景观在国内的发展，由此带动了声景观下音乐道路的研究与建设。我国在日本音乐道路路面技术的输出下，建设了五条音乐道路，带动了国内音乐道路的发展。

由于国内目前的音乐道路建设缺乏相应经验，尚处于摸索起步阶段，造成理论与施工环节部分脱节。如在道路施工时，人工操作机械从一侧推着路面刻槽机向另一侧移动来刻制凹

槽，会产生一定的施工误差（图5～图7），尤其是弯道路面的误差更为明显，例如线路宽度不均、线路歪斜、凹槽局部深度不均的施工误差，造成音频发声受到影响。本文将针对这些问题，通过分析音乐公路成音的基本原理，提出音乐公路弯道路面的发声优化设计方法，以此为中国音乐公路建设起到一定的帮助和促进作用。

2 音乐公路的基本原理

2.1 音乐公路成音的原因

音乐道路是在机动车道的道路接触面层上设计一段由多个不同间隔的凹型或凸型结构组合单元，供机动车以固定的设计时速行驶过上述单元，机动车轮胎接触路面结构产生特定的振动与音频，将多个单元产生的多个特定音频组合成音乐的道路形式。因此音乐道路的声音的产生是由于汽车沿道路行进方向上滚动的轮胎与道路凹槽结构接触，引起汽车规律振动而产生的固定音频（图8）。

2.2 音符的时值与对应的施工距离

本文选择简谱作为音乐乐谱。简谱中每个音符都具有对应的时值,同时每首乐曲简谱都有对应的拍号,以分数的形式表示出来。如 $\frac{2}{4}$ 、 $\frac{3}{4}$ 、 $\frac{4}{4}$ 等,分子表示每小节的拍数,分母表示单位拍。如 $\frac{4}{4}$ 表示以四分音符为一拍,每小节有两拍。每首乐曲都会有一个节拍速度标于乐首。在此设定以四分音符为一拍,每分钟 n 拍,则音符对应的时值 $t(s) = (60/n) \times (\text{音符长度}/\text{四分音符长度})$,因此每个音符所对应的施工距离 $S(m) = v(m/s) \times t(s)$,其中 v 为汽车行驶在音乐道路上的固定时速。

2.3 与音符频率对应的沟间隔设计

当设计车速按照道路需求设置后,车速 v 与凹槽间隔 L 和凹槽产生的振动频率 f 对应的关系为: $v(m/s) = L(m) \times f(Hz)$ 。道路速度的确定需要结合具体道路需求与道路的法律法规要求进行针对性设计。

2.4 各音符对应音频的确定

在简谱乐曲中的每个音符都具有一个音频频率,这也是发音的基础。在不同调号以及乐曲不同演唱音高要求下会产生变化。调号是简谱中确定与音名对应音符顺序对的方式。同时根据十二平均律理论,以钢琴小字一组中 $a^1=440\text{ Hz}$ 的国际音高为准,每升高半音乘以 $\sqrt[12]{2}$,降低半音除以 $\sqrt[12]{2}$,推算各音符对应的频率。在此以 $1=D$ 的 D 调下推算各基础音符频率(见表1)。

在凹槽宽 D 和车辆速度 V 一定的情况下,音频会随着凹槽间隔 L 的长短产生变化。 L 短时,产生的音频高(高音),即每秒振动的次数多; L 长时,产生的音频低(低音),即每秒汽车振动的次数少(图9)。凹槽间隔 L 一定的情况下,音量(通常

表1 D调下音符频率对照率

序号	音名	音符	频率/Hz
1	d1	1	294
2	e1	2	330
3	f1	3	370
4	g1	4	392
5	a1	5	440
6	b1	6	494
7	c2	7	554
8	d2	i	587

注:频率取值精度为四舍五入保留到个位数。

指响度,以分贝形式表示)会随着凹槽宽 D 的变化而变化。 D 变小时,音量随之变小; D 变大时,音量随之变大(图10)。

3 弯道路面的优化设计方法

3.1 音乐公路的类型划分

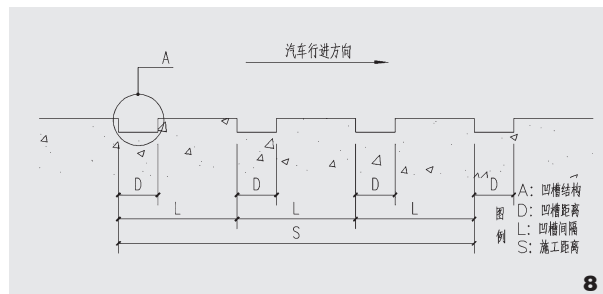
根据在平面道路一侧行驶方向上的音乐道路结构是否是整幅宽度路面布置,音乐公路可分为整幅式音乐道路结构(图11)与部分式音乐道路结构(图12)。

整幅式音乐道路,音乐道路结构布满单侧道路宽度,满足汽车双侧轮胎均行驶在其结构上,此时驾驶人可以较为自由地行驶而不用担心控制轮胎脱离音乐道路结构,同时双侧轮胎均行驶在音乐道路结构上,会增强音频发出的响度与效果,可

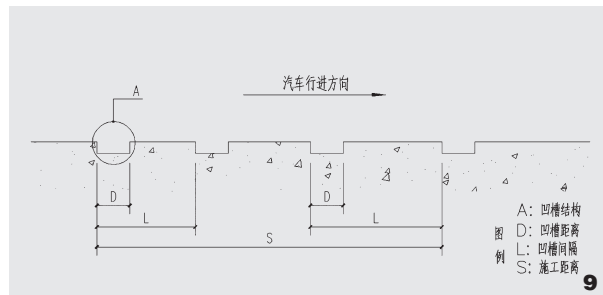
8. 凹槽结构发音示意图

9. 间隔 L 变化图

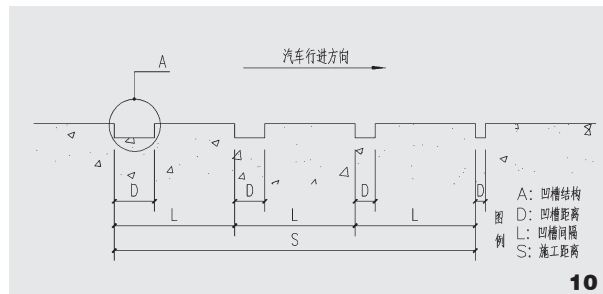
10. 凹槽宽度 D 变化图



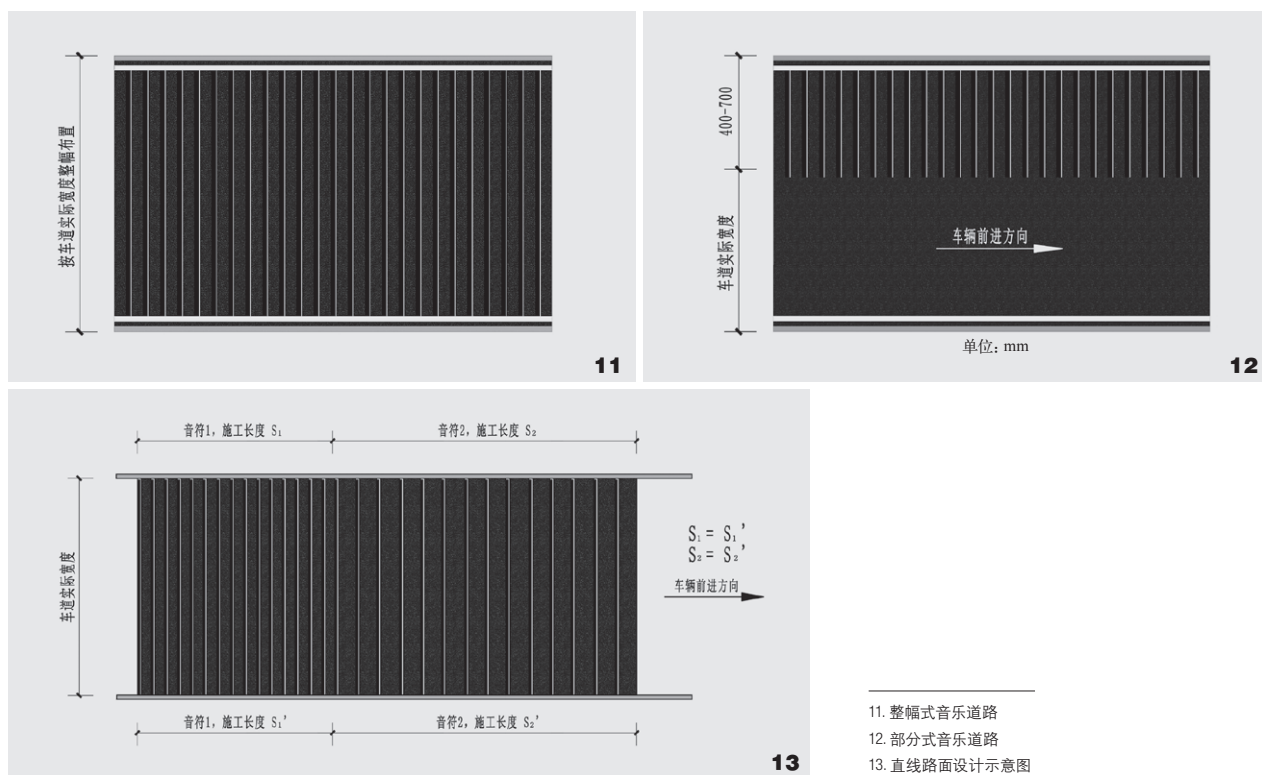
8



9



10



以较为稳定地持续输出音乐韵律。

部分式音乐道路，采取40 ~ 70 cm左右宽度的路面结构，布置于行驶道路边缘处（路肩范围以内）。此时驾驶人可以根据自身需要，将汽车单侧轮胎行驶上或者不行驶上路面结构，给予车内人员选择性，同时将原本整幅路面宽度的路面结构缩短至40 ~ 70 cm，极大地减少了工程量，适合工期紧的道路工程使用。但有限宽度的道路结构，增加了驾驶人员为维持音频不断发出要将轮胎始终行驶在音乐道路结构的操作难度，这也就意味着有音乐韵律中断的风险。

3.2 典型的直线路面设计方法

直线路面设计在此以整幅式道路布置类型来说明（部分式布置类型同理）。直线路面由于道路两侧的线形长度相等，汽车两侧轮胎不会产生速度差。因此在设计凹槽的间距和凹槽的宽度时，无需改变其各自的大小，可以按照设计的固定尺寸

布置于道路之上。同时各音符两侧对应的施工距离相等，即 $S_1=S_1'$ ， $S_2=S_2'$ （图13）。

3.3 弯道路面设计方法

弯道路面设计与直线路面设计具有较大差别。由于弯道内侧与外侧的长度不等，内侧长度小于外侧长度，这就造成了汽车要在同样的时间通过不同的距离，而这使得汽车内侧轮胎速度小于外侧轮胎速度，即轮胎速度差产生的原因。正是基于弯道两侧长度不等、汽车两侧轮胎速度差，音乐道路理论上的凹槽间距和凹槽宽度，以及弯道两侧的施工距离都会随之变化。如果不随弯道的弧度进行变化，采取同直线路面同样的设计方法，会造成一定的音频变化，不能精确地再现对应音符的频率。但由于理论上的凹槽设置方式以现今的施工技术难以实现，故而本文综合实际情况总结出两种可以克服与理论差异带来的音频变化的优化设计方法。

3.3.1 理论弯道路面设计方法

理论弯道路面设计就是音乐道路凹槽的间距与宽度都随着道路的弧度变化而变化,使得汽车两侧的轮胎能够同时行驶在任意一条凹槽之上,发出与理论设计相同的音频。同时由于理论的凹槽间隔和凹槽宽度受到固定音频的限制,是一个固定的值,因此在凹槽结构上,需要用彩色热熔漆画出车辆行驶的路线轨迹,以获得最佳的音乐韵律感受,同时以彩色热熔漆标识在道路内侧的中线作为凹槽间隔 L 与宽度 D 的设计路线,此时 L 与 D 是一段沿弧度变化的弧线(图14)。

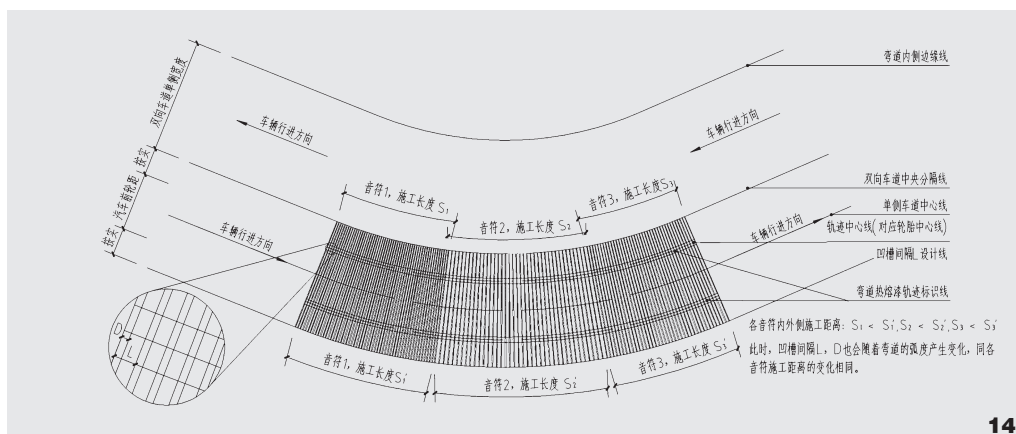
3.3.2 实际弯道路面设计方法一

理论弯道路面凹槽的间隔和宽度会随道路弧度变化而不

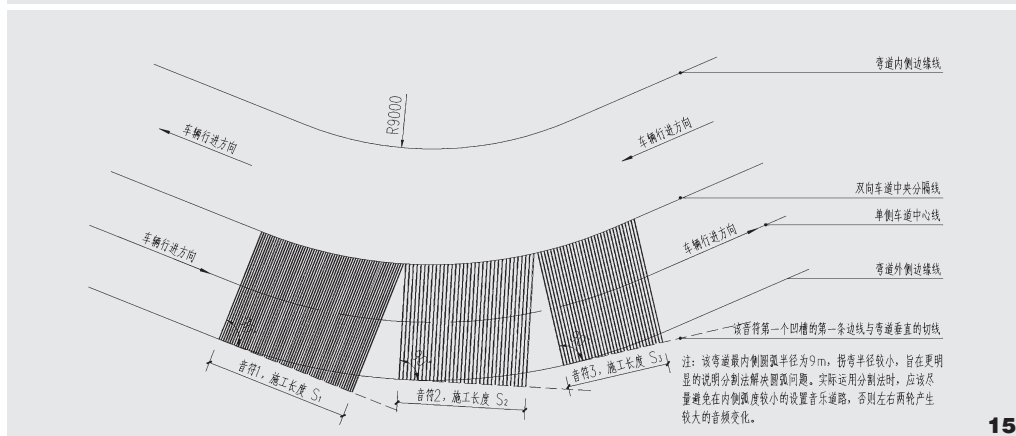
断变化。考虑现有的施工技术,难以实现这样精确的道路凹槽与间隔变化。因此在实际的音乐道路施工时,往往采取分割法,即将一段多个音符的弧度通过施工距离 S 分割成数段折线来解决弯道设计问题,其中每个音符的凹槽间隔与宽度不变。此种方式施工较为方便,但是并没有解决由弯道车辆速度差带来的音频变化问题(图15)。

3.3.3 实际弯道路面设计方法二

通过将弧度分割成数段折线完成弯道设计,但由于汽车两侧轮胎速度差会造成两侧前轮或后轮轮胎不能同时接触或驶出一个凹槽宽度与间隔,导致左右轮胎产生的音频不一致。故而笔者结合国内外研究,提出采取部分式的道路布置



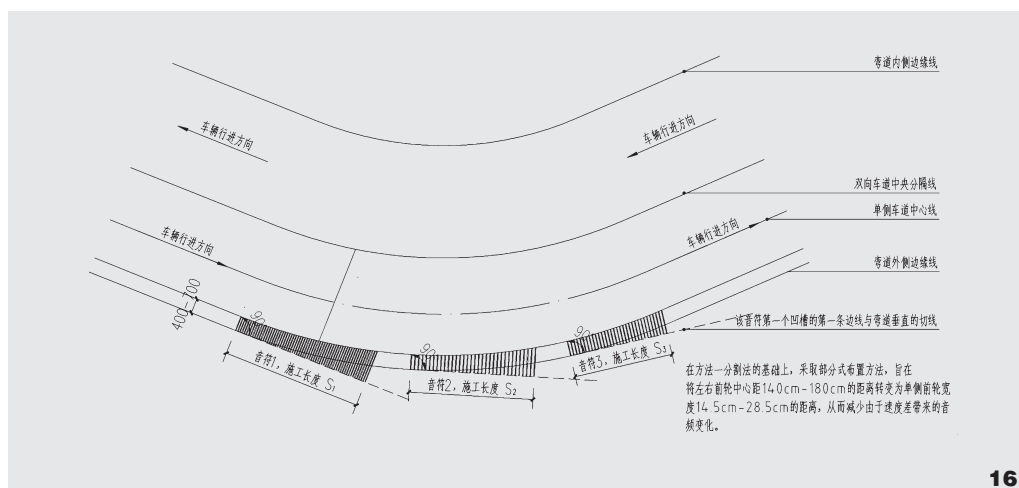
14



15

14. 理论弯道路面设计示意图

15. 实际弯道路面设计示意图一



16

16. 实际弯曲路面设计示意图二

来解决此问题。在分割法的基础上将音符沿垂直于道路行进方向上的宽度设计为40~70 cm,并布置于道路的边缘一侧,使汽车单侧轮胎接触凹槽结构,这样就避免了音频变化。由于汽车轮胎有14.5~28.5 cm的宽度,使得单个汽车轮胎在经过弯道时,轮胎内侧与外侧依旧存在速度差异(外侧的大于内侧的),但是单个轮胎宽度造成的速度差相较于上述方法——基于车辆左右轮胎中心间距(140~180 cm)的速度差,有了较大的改善,其产生经过同一凹槽间隔和宽度的时间可以忽略不计。部分式的分割布置形式,具有较好的消除频率变化的作用(图16)。

4 结语

音乐道路是在汽车行驶过程中,通过轮胎与路面工程设施接触振动,产生不同节奏频率的组合,从而形成音乐。针对路面工程技术的相关概念早在1937年就被提出,但是中国由于起步较晚,关注度较少等一系列原因,还停留在专利技术等基础理论研究方面,仅出现的实例建设也是作为艺术设计装置,深入研究与实例建设未得到长足发展。庆幸的是,伴随着景观在道路建设中的重要性不断加强,促进了道路景观以及道路声景观的结合发展,国内音乐道路的建设也必将迎来良好的发展机遇。■

参考文献

- [1] Schmidt Alex. Method for producing music in cars and road surface for implementing this method [P]. FR2575856A1, 1988-05-13.
- [2] 篠田興業. 世界唯一・メロディーロードの特许技术说明[EB/OL]. [2019-08-09] <http://melodyroad.jp/?cat=71&paged=2>.
- [3] 篠田静男, 橋場参生. メロディーロードおよびメロディーロード設計プログラム[P]. WO2006030915A1, 2006-03-23.
- [4] 篠田静男. メロディーロード[P]. 登录第4927076号, 2006-02-10.
- [5] 篠田静男, 橋場参生. メロディーロードおよびメロディーロード設計プログラム[P]. 特许第4708354号, 2011-03-25.
- [6] 篠田興業. 世界唯一・メロディーロードの特许技术说明[EB/OL]. 2016-06-13[2019-08-09]. <http://melodyroad.jp/?cat=71&paged=2>.
- [7] Alex Tucker, Tim Arnold, Edmon Perkins. Asphaltophone profile design[A]. The International Institute of Acoustics and Vibration (IIAV) and the Canadian Acoustical Association (CAA). The 26th International Congress on Sound and Vibration (ICSV26)[C]. The International Institute of Acoustics and Vibration (IIAV) and the Canadian Acoustical Association (CAA), 2019: 7.
- [8] 宋剑玮, 马蕊, 冯寅. 声景观综述[J]. 噪声与振动控制, 2012, 32(05): 16-20.
- [9] 王舒超. 园林声景观评价及优化设计研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2018.
- [10] 赵文红. 首条音乐公路在河南长葛建成[N]. 科技日报, 2013-02-23(3).
- [11] 北京第一条“会唱歌的路面”建成[J]. 西部交通科技, 2016(11): 9.
- [12] 张东平. 北京建成第一条音乐路面——汽车驶过路面就“唱歌”[J]. 市政技术, 2017, 35(01): 1.
- [13] 新疆维吾尔自治区人民政府. 新疆建成首条音乐公路[EB/OL]. [2019-08-30] <http://www.xjzt.gov.cn/index.php/Home/Index/content/id/143794.html>