

基于粒子群算法的改建道路纵断面自动设计研究

董华珍¹, 聂 涔²

(1.广州地铁设计院施工图咨询有限公司, 广东 广州 510010; 2.广州地铁设计研究院股份有限公司, 广东 广州 510010)

摘 要:为改变现有改建道路纵断面设计软件拉坡设计人工耗时长、随意性大、主观性强、设计方案参差不齐的状况,首次提出基于粒子群算法的改建道路纵断面自动设计,以提高设计效率、减少工程投资。在满足相关规范、路面改造方案前提下,以改造纵断面填挖方高度总和最小为目标函数,以纵坡长度、纵向坡度、竖曲线半径为约束条件,以变坡点的里程、高程为变量,利用粒子群算法原理,构建了基于粒子群算法的改建道路纵断面自动设计模型。研究结果表明:该设计模型达到了改建道路纵断面自动适应贴合现状道路高程、路面改造工程量最小的目的,当粒子群算法迭代次数达到400多次时,粒子适应度函数趋于收敛,当迭代次数设为500次时,可以获得满意的成果。实例验证表明:与传统的人工设计相比,算法自动设计的效率更高,自动设计过程仅需2~3 s,拟合原地面线的效果更好,能节省近一半的路面加铺工程量,优化设计效果显著。基于粒子群算法的改建道路纵断面自动设计,可为道路改造设计及设计咨询提供理论基础与技术支持。

关键词:道路工程;纵断面自动设计;粒子群算法;改建道路

中图分类号: U412

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)01-0205-05

0 引 言

随着我国国民经济的持续快速发展、城市化进程的加快,机动化程度得到很快的发展,私家车已逐渐进入普通市民的家庭当中。根据公安部发布的统计数据,截至2021年6月,我国机动车保有量达到2.92亿辆,其中千人机动车保有量已从2002年的62辆^[1]增至2021年的200辆,增幅超过3倍。机动车保有量的激增使得原有的城市道路满足不了人们对城市道路的需求。

近年来,城市道路交通已经从迅猛发展的高潮期逐步过渡到改造维护的存量时代。随着城市土地资源的越发紧张,旧路改造已经成为改善现状道路交通条件的关键手段。在道路改造时,既有道路的平面线形基本定格,受限于道路红线的约束,道路改造一般情况下会保持原有的平面线形不变。受常年累月的交通荷载、自然环境、路面结构病害等因素的影响,道路纵断面往往发生较大的沉降变化,导致竖向行车舒适性大大降低。因此,纵断面设计是道路改造较关键的环节。

从20世纪60年代开始,计算机技术开始应用于公路设计中。经过多年的发展,形成了诸多成熟的市政道路设计软件,如HY-SZDL、EICAD、RDCADS、纬地道路、OpenRoads Designer等。市场上应用的这

些道路设计软件,仅是提供人机交互操作平台,软件的纵断面设计方法由设计师在软件界面上手动拉坡、反复调整拉坡方案,需要耗费大量的设计精力处理复杂的设计条件。同时还受限于设计人员的技术水平和经验的主观性,往往难以取得理想的设计方案。旧路改造工程要求纵断面线形与现状道路的地面线尽量贴合,保证纵断面填挖方工程量尽量小,传统的人机交互拉坡设计方法难以满足设计的需要。将复杂的设计条件抽象成数学模型,利用人工智能算法进行优化求解,已经成为新的设计潮流。目前关于纵断面自动设计的研究,多集中在铁路与公路方面^[2-4]。铁路与公路一般的纵断面受限于地面的起伏情况,一般情况下纵断面的起伏较大,属于比较粗犷的纵断面设计类型。而市政道路改造纵断面波动较小,属于精细化方面的设计,然而目前关于这方面的研究很少,而且基本上是传统的数值解法,不够智能化、自动化^[5-6]。

笔者通过分析改建道路纵断面设计要点和现有道路设计软件纵断面设计功能局限性,首次将粒子群算法用于城市道路改建当中,以道路路面改造工程量最小为目标,建立了基于粒子群算法道路改造纵断面自动设计模型。该模型可大大提升设计效率,提高设计质量,减少工程投资。

1 数学模型

道路纵断面是由一系列的变坡点组成的,抽象成数学参数为变坡点里程、高程和竖曲线半径。其中,变

收稿日期:2022-03-01

作者简介:董华珍(1981—),女,硕士,高级工程师,从事市政路桥设计与咨询工作。

坡点里程和高程是确定纵断面位置和坡度的关键因素。在道路改造的纵断面设计中,竖曲线半径起到平顺过渡坡度的作用,其取值一般受限于保证竖曲线半径、竖曲线长度满足规范最低要求即可,整体上起到一个缓和与辅助的作用。因此,本文不将竖曲线半径作为优化参数,后续在满足规划约束的条件下,通过变坡点的相邻坡度差来适应和匹配竖曲线半径。

因此,将每个变坡点的里程 m_{i1} 、高程 h_{i1} 变量编码成粒子群向量,如下:

$$Xi = (m_{i1}, h_{i1}, m_{i2}, h_{i2}, \dots, m_{in}, h_{in})$$

1.1 目标函数

城市道路改造工程的纵断面设计思路,主要是根据路面结构改造的具体方案,纵坡的设计尽量贴合拟改造道路的现状高程,尽量减少填挖方的工程量,以节省工程投资^[5]。

改造的纵断面设计抽象成数学模型,即求解多变量函数的条件极值问题。也就是在满足道路改造所遵循的规范与标准等前提下,得到工程改造量最小的设计方案。实际工程中,计算工程总费用较为复杂,需要考虑土石方、桥涵、隧道、横断面形式等因素。但在道路改造工程中,主要的工程量都是集中在道路纵断面中线上的填挖方总和。因此,为了简化数学模型,将目标函数定义为:纵断面中线上的填挖总和。其表达式定义如下:

$$S = \int_0^x g(x) |f(x) - h(x)| dx$$

式中: $f(x)$ 为纵断面设计标高; $h(x)$ 为纵断面地面标高; $g(x)$ 为权函数,针对不同的横断面时,可以调整不同的断面影响值。

1.2 约束条件

1.2.1 坡长约束

《城市道路路线设计规范》对最小坡长与最大坡长进行了规定,旧路的一般路段设计坡长应能满足规范要求的最小坡长限制,且应考虑路线尽端道路起(讫)点一端可不受最小坡长限制。一般情况下,设计速度不变,旧路的原设计最大坡长能满足规范要求,故暂不考虑最大坡长约束。因此,本模型坡长约束考虑最小坡长满足规范要求,即 $L \geq L_{\min}$,且起终点及与旧路交叉口路段不受最小坡长限制。

1.2.2 坡度约束

为满足竖向排水的要求,规范规定道路最小纵坡为 0.3%。但在实际改造的情况中,受到施工精度、路基沉降等影响,道路实际坡度难以避免会有小于

0.3%的情况。对于最小纵坡小于 0.3% 的情形,按规范要求设置相应排水措施。因此,最小纵坡不做要求。

道路的最大纵坡应满足道路设计规范的要求,即: $i \leq i_{\max}$ 。

1.2.3 竖曲线半径

为保证行车视距合理,竖向离心加速度舒适可行,竖曲线半径应满足规范规定,即: $R \geq R_{\min}$ 。一般竖曲线长度需保证车辆 3 s 行程的要求,有 $L \geq L_{\min}$ 。

1.2.4 平纵组合

《城市道路路线设计规范》对设计速度不小于 60 km/h 的道路强调线形组合设计,保证指标均衡、视觉良好、安全舒适;对设计速度小于 60 km/h 的道路的线形组合则没有硬性要求。故本研究暂不考虑对设计速度小于 60 km/h 的道路的线形组合的约束。

1.3 粒子群算法求解

粒子群算法 (particle swarm optimization, PSO) 是一种源于鸟群觅食行为的算法^[7]。该算法具有计算速度快、并行性高、收敛速度快、参数少、稳定性强等特点,在工程领域内多变量求优化解上有广泛的应用^[8-9]。

算法中将每个粒子组编成一个 n 维向量,每个粒子根据自己当前的位置和速度,参考群体中的经验,每时每刻都进行动态调整,通过不断的进化迭代,达到群体目标最优的状态。

具体的变量编码形式如下:

$X_i = (X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{in})$ 表示粒子 i 当前的位置;

$V_i = (V_{i1}, V_{i2}, V_{i3}, \dots, V_{in})$ 表示粒子 i 当前的速度;

$P_i = (P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots, P_{in})$ 表示是粒子 i 的个体最好位置;

$P_g = (P_{g1}, P_{g2}, P_{g3}, \dots, P_{gn})$ 表示整个群体中的最好位置。

粒子进化的方程如下:

$$V_{ij}(t+1) = wV_{ij}(t) + c_1r_1[P_{ij}(t) - X_{ij}(t)] + c_2r_2[P_{gj}(t) - X_{ij}(t)]$$

$$X_{ij}(t+1) = X_{ij}(t) + V_{ij}(t)$$

式中: $V_{ij}(t+1)$ 为粒子 i 中第 j 个变量在 $t+1$ 时刻的速度; $X_{ij}(t)$ 为粒子 i 中第 j 个变量在 t 时刻的位置; $P_{ij}(t)$ 为粒子 i 中第 j 个变量在 t 时刻的最优解; $P_{gj}(t)$ 为整个种群中第 j 个变量在 t 时刻最优解; w 为速度变化权重; c_1, c_2 为学习因子; r_1, r_2 为 (0, 1) 区间内均匀分布的随机数。

同时,为了保证粒子不超越搜索空间,通常给粒子的速度设定一个变化范围。

$$V_{ij} \in (-V_{\max}, V_{\max})$$

基于粒子群算法求解的具体步骤如下。

Step1:种群初始化

以原始的设计方案为基础,将每个变坡点的里程 m_{i1} 、高程 h_{i1} 变量编码成粒子群向量,如下:

$$X_i=(m_{i1},h_{i1},m_{i2},h_{i2},\cdots,m_{in},h_{in})$$

竖曲线半径取值在满足规范的要求下,根据相邻坡段的坡差进行确定,一般情况下取整千的数值。具体确定方式如下:

$$R=\max(1000\text{ceil}(l_{\min}/(1000\Delta i)),R_{\min})$$

式中: $l_{\min}$ 表示最小竖曲线长度; Δi 表示变坡点 i 的相邻坡差的绝对值; $R_{\min}$ 表示最小竖曲线半径; $\text{ceil}()$ 表示向上取整的函数。

对初始线路表示的纵断面向量分别进行随机扰动,形成多条新的纵断面方案。

Step2:初始化适应度计算

分别计算 step1 中生成的每个粒子的适应度。为了进一步简化目标函数,采用数学中微元求和的思想,在纵断面上每隔 1 m 取一个点,进行纵断面中线上填挖方总量的累积求和。具体适应度函数的计算方法如下:

$$\min S=\sum_{i=1}^n g(i)|f(i)-h(i)|-M$$

式中: $f(i)$ 为里程 i 处的纵断面设计高程; $h(i)$ 为里程 i 处的地面线高程; $g(i)$ 为里程 i 处权函数,若道路横断面形式一致,则取 $g(i)=1$; M 为约束惩罚项,若粒子不满足相应的约束条件,则 M 取一个很大的值,若粒子满足规范约束,则 $M=0$ 。

将初始的粒子群中的各个粒子的评价值作为各个粒子的个体历史最优解 j ,并寻找各子群中的最优解 P_L 和总群体中的最优解 P_g 。

Step3:迭代优化。

不断迭代以下步骤,直到满足收敛条件或达到最大迭代次数。

(1)对每一个粒子,按照粒子进化方程更新。

(2)计算每一个粒子的适应度。

(3)若粒子的当前适应度优于其历史最优适应度,则记该粒子的当前适应度为该粒子的历史个体最优适应度。同时记当前位置为该粒子历史个体最优位置。

(4)寻找当前各子群中的最优解和总群体中的最优解,若分别优于各自的历史最优解,则更新 P_L 、 P_g 。

算法的终止条件:当算法进行迭代 N 次后,适应度函数值趋于平缓,最终收敛于一个较优值时,即 N 代之后的个体最优解即本次优化的纵断面设计最优

方案。经多次试验验证,当迭代次数达到 400 多次时,适应度函数趋于收敛;设定迭代次数为 500 次时,可以获得满意的成果。

2 实例验证及分析

为验证粒子群算法在道路改造纵断面优化设计中的可行性和有效性,本文进行了计算机编程求解验证。笔者选取两个经施工图审查合格的主干道改造项目(设计速度均为 60 km/h)进行优化测试,并将优化方案(即基于粒子群算法的纵断面自动设计方案)与审查合格方案(以下称为“原始方案”)进行对比。

根据《城市道路路线设计规范》要求,60 km/h 设计速度的道路最小纵坡长度 150 m,凹形竖曲线最小半径 1 500 m,凸形竖曲线最小半径 1 800 m,竖曲线最小长度 120m(现状路接顺段不受此限)。

粒子群的参数设置:粒子数 $n=20$, $c_1=c_2=1.5$,最大迭代次数 $N=500$,对应变坡点里程的粒子最大速度为 5,对应变坡点高程的粒子最大速度为 0.1。

2.1 实例验证

实例 1:某城市某旧路改造项目,道路等级为城市主干路,设计车速 60 km/h,道路北起工业大道,南至金斗大桥,全长 2 500 m。道路红线宽 50 m,车行道宽 26 m。据该沥青路面检测报告结果,路面技术状况评价为:结构强度为临界,其他评价指标等级为 C,养护对策为中修或局部大修。路面改造设计方案为保留路面基层、新建沥青面层结构。新建沥青面层结构方案:4+5+7+ 调平层,旧路面层结构方案:4+5+7。

实例 1 粒子群算法优化方案如表 1、图 1~图 3 所示。

表 1 实例 1 优化方案竖向要素

变坡点 里程 /m	变坡点 高程 /m	坡长 /m	坡度 /‰	竖曲线 半径 /m	竖曲线 长度 /m
0	2.414	0	0	0	
150	2.313	150	-0.674	1 233 000	119.601
300	2.197	150	-0.771	89 000	119.972
510	2.319	210	0.577	15 000	122.775
660	3.633	150	8.762	10 000	126.66
825	2.989	165	-3.904	182 000	120.302
975	2.304	150	-4.565	22 000	123.662
1 170	2.51	195	1.056	23 000	120.175
1 320	1.884	150	-4.169	16 000	122.944
1 510	2.552	190	3.515	22 000	120.01
1 760	2.067	250	-1.94	66 000	120.318
1 955	2.044	195	-0.117	218 000	119.9
2 130	2.12	175	0.433	112 000	120.288
2 280	2.024	150	-0.641	45 000	120.06
2 500	2.47	220	2.027	0	

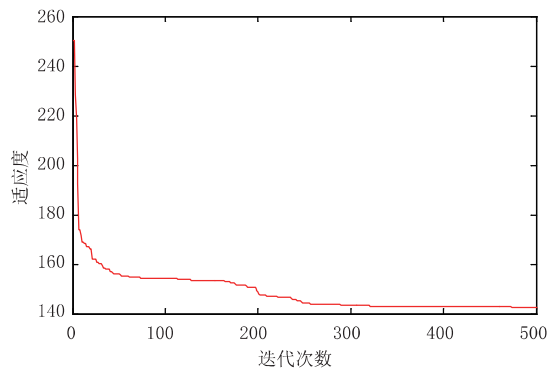


图1 实例1优化方案迭代关系图

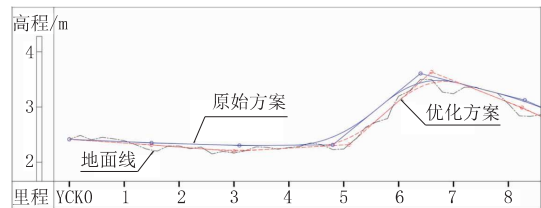


图2 实例1优化方案与原始方案对比图(一)

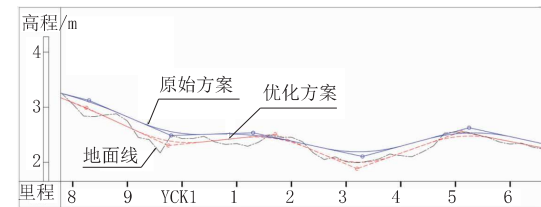


图3 实例1优化方案与原始方案对比图(二)

实例2:某城市某旧路改造项目,道路等级为城市主干道,设计车速 60 km/h,南起机场路,北至黄石东路,道路全长约 4 km,红线宽 60 m,车行道宽 31 m。据该沥青路面检测报告结果,路面技术状况评价为:结构强度足够,其他评价指标等级为 B、C,养护对策为保养小修或中修。旧路路面改造方案为铣刨 4 cm 沥青面层,加铺 4 cm 沥青玛蹄脂碎石混合料(调平层另计)。

实例2 粒子群算法优化方案如表 2、图 4、图 5 所示。

2.2 可行性分析

由表 1、表 2 可知,基于粒子群算法的纵断面设计方案的坡长、坡度、竖曲线半径及竖曲线长度均满足《城市道路路线设计规范》要求;改建路面纵断面设计线基本贴合旧路路面设计,与既有路面贴合性更好(图 2、图 3、图 5),满足改建路面设计要求。由此可知,基于粒子群算法的纵断面自动设计方案是可行的。

2.3 有效性分析

从图 1、图 4 可知,基于粒子群算法的纵断面优化方案在前 100 次迭代中适应度迅速下降,优化效果非常明显。当迭代次数达到 400 次时,适应度函数

表 2 实例 2 优化方案竖向要素

变坡点 里程 /m	变坡点 高程 /m	坡长 /m	坡度 /‰	竖曲线 半径 /m	竖曲线 长度 /m
40	8.6				
235	9.553	195	4.890	55 000	121.2
395	9.983	160	2.686	24 000	123.9
565	11.318	170	7.850	10 000	120.8
735	10.598	170	-4.231	10 000	131.4
950	12.514	215	8.911	10 000	120.6
1 130	11.945	180	-3.164	18 000	123.0
1 345	12.735	215	3.676	11 000	92.6
1 455	12.212	110	-4.755	15 000	109.6
1 565	12.494	110	2.563	3 000	100.2
1 810	4.931	245	-30.869	5 000	137.2
2 060	4.075	250	-3.425	19 000	120.1
2 465	5.249	405	2.900	3 000	123.2
2 685	14.926	220	43.986	3 000	122.8
2 865	15.474	180	3.042	24 000	120.8
3 070	15.057	205	-2.035	26 000	120.9
3 365	15.828	295	2.617	23 000	121.3
3 615	15.145	250	-2.733	15 000	124.4
3 935	16.925	320	5.562	11 000	121.0
4 270	15.102	335	-5.442	14 000	120.5
4 400	15.514	130	3.164	13 000	123.4
4 461	15.127	61	-6.342		

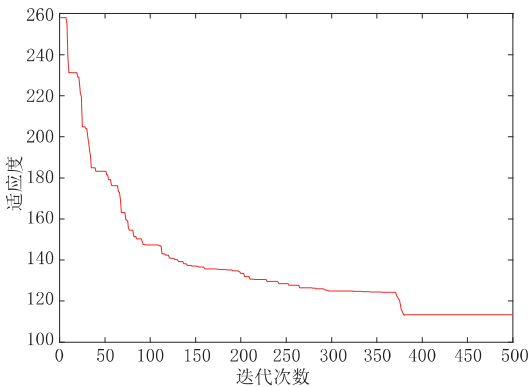


图4 实例2优化方案迭代关系图

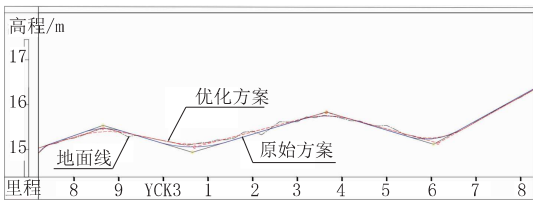


图5 实例2优化方案与原始方案对比图(部分路段)

趋于收敛,验证了模型的有效性。

2.4 方案比较

(1)优化方案纵断面与现状地面贴合度更高。根据程序运行结果及图 1,实例 1 原始方案的适应度为 250.5,优化方案的适应度为 140.6。根据程序运行结

果及图4,实例2原始方案的适应度为257.9,优化方案适应度为113.4。

(2)优化方案设计效率高。市场应用的道路软件人机交互拉坡设计需耗时0.5~2 d,本算法整体的优化过程耗时2.2 s,效率非常高。

(3)优化方案减少工程投资。实例1、实例2优化方案与原始方案结果进行比较,优化方案的调平层或新增加铺工程量为原始方案的50.1%~55.6%,节省了近一半的新增加铺量,纵断面优化设计线更精确,更接近实际道路中线高程,优化效果显著。

3 结 语

研究表明:该设计模型达到了改建道路纵断面自动适应贴合现状道路高程、路面改造工程量最小的目的。当粒子群算法迭代次数达到400多次时,粒子适应度函数趋于收敛。当迭代次数设为500次时,可以获得满意的方案。

实例验证表明,与传统的人工交互拉坡设计相比,基于粒子群算法的纵断面自动设计方法与现状路面贴合度更高,设计效率更高,自动设计过程仅需2~3s;拟合原地面线的效果更好,能节省近一半的路

面新增加铺量,优化设计效果显著。本算法为道路改造纵断面自动设计提供了有力的理论支撑,同时也极大地提升了设计效率、显著减少工程量,为设计决策提供重要参考。

参考文献:

- [1] 刘明.城市道路拓宽改建的研究[D].济南:山东建筑大学,2016.
- [2] 李懿.基于深度强化学习的公路路线生成方法[D].昆明:昆明理工大学,2020.
- [3] 张伟东.基于遗传算法与动态规划法混合算法的铁路纵断面优化设计[D].兰州:兰州交通大学,2015.
- [4] 田成祥,王怀晓,付成群,等.基于量子遗传算法的军用道路纵断面优化设计[J].四川兵工学报,2013,180(7):152-155.
- [5] 钟洲.城市道路改造工程纵断面设计方法[J].城市道桥与防洪,2016,206(6):41-42.
- [6] 陈亿琳,丁建明,陈素华.道路改造纵断面计算机自动设计[J].公路交通科技,2005(8):23-25.
- [7] Eberhart, R. C. and Kennedy, J. A new optimizer using particle swarm theory [C]. Proceedings of International Symposium on Micro Machine and Human Science, 1995, 39-43.
- [8] 高明瑶,石红国.基于改进 PSO 算法的轨道交通接运公交线路优化问题[J].交通运输工程与信息学报,2019,66(4):49-54.
- [9] 沈显君.自适应粒子群优化算法将其应用[M].北京:清华大学出版社,2015:48-69.

(上接第201页)

展现状[J].隧道建设(中英文),2019,39(10):1553-1562.

[4] GB 50026—2020,工程测量标准[S].

[5] 净少敏,冯峥嵘.大断面隧道施工监测分析及应用[J].铁道建筑技术,2010(2):35-39.

[6] 肖红渠.五龙岭大跨连拱隧道施工监测及变形特性分析[J].隧道建设,2001(1):1-6.

[7] 胥新伟,张乃受,刘思国.大型跨海沉管隧道施工监测新技术[J].中国港湾建设,2020,40(6):59-64.

[8] 黄俊,陈喜坤,李宏,等.结构智能健康监测系统在水下隧道中的应用[J].地下空间与工程学报,2017,13(S1):306-313.

[9] 刘胜春,张顶立,黄俊,等.大型盾构隧道结构健康监测系统设计研究[J].地下空间与工程学报,2011,7(4):741-748.

[10] 孟志浩.盾构隧道 BOFDA 监测与稳定性评价[D].南京:南京大学,2017.

[11] 杜荣武,翁顺,曾铁梅,等.基于移动三维激光扫描的地铁隧道结构监测方法[J].土木工程与管理学报,2020,37(1):139-145.

[12] 任亮,尤润州.一种基于形状传感器的测斜装置及测斜方法:中国,CN110686612B[P].2020-08-25.

[13] 李讯,何川,汪波,吴成刚.营运期隧道结构健康监测与安全评价研究[J].现代隧道技术,2008,45(S1):289-294.

爆炸冲击作用下节段拼装桥墩反射超压分布规律研究

许凯, 史菁霞

(上海城建信息科技有限公司, 上海市 200093)

摘要: 分析桥墩在爆炸冲击作用下的反射超压是研究其动态响应的基础。采用 ANSYS/LS-DYNA 建立节段拼装桥墩受爆的三维实体分离式模型, 并通过既有试验来验证建模方法的可靠性。以桥墩结构形式、节段数目、爆炸比例距离及爆心高度等为设计变量, 分析其对节段拼装桥墩冲击波反射超压分布规律的影响。研究结果表明: 在桥墩节段数目及爆心高度一定的情况下, 桥墩反射超压随比例距离的减小而增大; 当爆炸高度接近桥墩接缝时, 接缝位置处会产生相当大的反射超压; 节段拼装桥墩反射超压的变化规律和整体式桥墩有明显差距; 通过拟合得到了整体式和节段拼装桥墩不同比例距离处冲击波超压峰值沿桥墩高度分布的简化计算公式, 可为研究桥墩受爆的动态响应及其抗爆设计提供参考。

关键词: 节段拼装桥墩; 爆炸; 反射超压; 分布规律; 简化计算

中图分类号: U443.22

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)01-0210-06

0 引言

近年来, 易燃易爆物品运输逐渐增多, 其在运输过程中易发生爆炸, 对桥梁等交通基础设施的安全造成威胁。此外, 在全球范围内的恐怖主义活动不断加剧, 重要的桥梁成为恐怖分子爆炸袭击的潜在目标。桥墩作为桥梁结构的重要承载构件, 其抗爆性能直接关系到桥梁体系的安全性。因此, 亟需开展桥墩构件的抗爆研究。

对于桥梁墩柱在爆炸荷载作用下的反射超压和破坏研究, D.Karagiozova^[1]深入研究了在冲击作用下的圆柱壳体的动力特性与响应规律, 提出屈服应力高的圆柱壳能够在动力作用下更好地耗散能量。阎石等^[2]研究了爆炸波能量衰减规律, 以及具有时变特点的超压空间分布规律, 确定了与破坏程度密切相关的几种典型超压影响范围。孙珊珊等^[3,4]进行了大比例钢管混凝土墩柱静爆试验, 得到了钢管混凝土墩柱柱面爆炸荷载的反射超压分布规律, 对比研究了各经验公式的预测差异与适用性。Williamson 等^[5]指出地面爆炸时, 在远距离爆炸条件下, 作用在桥墩上的爆炸荷载可近似成均布荷载, 而近距离爆炸条件下, 桥墩上的爆炸荷载可近似为三角形荷载。以上可以看出大部分的桥墩抗爆研究主要集中在整体式桥墩上, 对节段拼装桥墩研究很少。同时节段拼装桥墩凭借其施工速度快、干扰小等诸多优点, 广泛用于

工程实践中。但是由于节段拼装桥墩墩身的不连续性, 存在接缝处抗剪能力较弱的问题。桥墩作为桥梁结构竖向承载力的主要构件, 对于爆炸荷载的敏感性大, 且研究爆炸荷载在墩柱上的分布规律是分析爆炸荷载作用下桥梁结构动态响应的前提, 因此有必要研究爆炸作用下节段拼装桥墩冲击波反射超压分布规律。

现基于 ANSYS/LS-DYNA 建立圆形截面预制节段拼装桥墩的三维实体分离式模型, 通过参照试验的实测数据来验证该三维分离式模型的准确性。在此基础上, 讨论了节段数目、比例距离、桥墩体系和爆心高度等关键设计参量对圆形截面预制节段拼装桥墩冲击波反射超压的影响。通过对爆炸冲击作用下整体式和节段拼装桥墩反射超压分布对比分析, 研究此类节段拼装式桥墩反射超压分布规律及其关键影响因素, 可为今后装配式桥墩的抗爆设计与研究提供计算依据。

1 数值模型建立

1.1 计算模型和计算方法

目前对节段拼装桥墩的抗爆试验还没有统一尺寸标准, 但根据美国太平洋地震工程研究中心的桥墩尺寸统计, 抗震试验桥墩直径多为 40~50 cm。因此, 该项研究的桥墩模型尺寸确定为圆形截面, 直径 0.5 m, 墩身高 3 m。墩身分 3、4、5 节段, 节段长度分别为 1 m、0.75 m、0.6 m。根据装配式混凝土结构技术规程^[6], 桥墩混凝土等级为 C40。箍筋直径 8 mm,

收稿日期: 2022-03-14

作者简介: 许凯(1996—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事BIM信息化工作。