

工矿企业厂外道路纵断面优化设计研究

王秋平^{1,2}, 王磊娟¹, 张琦¹, 刘婷婷¹, 白洋¹

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055;

2. 西部建筑科技国家重点实验室(筹), 陕西 西安 710055)

摘要:厂外道路纵断面优化设计是在平面线形已定的基础上,用数学方法优化纵断面线形,提高选线设计质量,降低工程投资.采用多项式曲线拟合能反映地面的起伏趋势,在反弯点附近利用最小二乘法拟合坡线,并根据约束条件调整变坡点的位置从而自动得到初始可行的纵断面方案.在初始纵断面方案的基础上,通过划分网格的方式实现了遗传算法在纵断面优化设计中的应用,为遗传算法中初始种群的选取奠定了基础.论文对某热电厂厂外道路的一部分路线进行了实例研究,用网格法与遗传算法对纵断面变坡点进行了联合优化,结果表明该算法优化效果良好,能为前期设计提供参考,减轻劳动强度,降低建造费用.

关键词:厂外道路;纵断面;优化设计;遗传算法

中图分类号:U412.33

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2012)01-0014-06

厂外道路是指厂矿企业与公路、城市道路、车站、港口、原料基地、其他厂矿企业等相连接的对外道路;或本厂矿企业(露天矿除外)分散的厂(场)区、居住区等之间的联络道路;或通往本厂矿企业(露天矿除外)外部各种辅助设施的辅助道路^[1].厂外道路运输是现代工业生产的重要运输方式之一,它具有灵活性大,占地少,造价低,适应性强,运输设备型式多样,可以适应多种运输工具,它是厂区运输的重要组成部分.厂外道路是工厂与外部进行交通运输联系的纽带,对工厂的总体质量、生产工艺流程、人货流组织、运输成本等有很大影响.厂外道路设计直接与企业的运输组织、基建投资、工程大小、行车安全、维修管理、运输效益及远期发展等因素密切相关.工矿企业厂外道路线路设计,应符合《厂矿道路设计规范》有关规定,并应符合厂矿企业总体规划和总图运输的布置要求.采用厂外道路纵断面优化设计方法能快速的得到纵断面,并快速算出各项主体工程数量、费用,便于设计人员判断线路平面的好坏.

早期在道路设计中应用计算机技术对纵断面的优化进行了大量研究,但其成果尚未能在工程实际中单独推广应用.目前,纵断面优化技术常作为一种辅助手段使用,通过快速产生多个方案,并提供填、挖方工程量和主要技术指标等信息,供工程师对多个方案作出比较,并通过人机交互修改调整、优化方案,最后得到较满意的结果.利用计算机进行纵断面优化取代了人工繁重的计算与绘图工作,进而用优化技术来自动进行大部分修改工作,把设计人员的精力主要用于分析判断及自动处理一些难于用数学模型来表示的问题上.这样,可以大大减轻设计人员劳动强度,对加快纵断面设计速度与提高设计质量有重要意义^[2].

目前国内传统的纵断面优化设计一般都是由人工给出或由计算机自动生成一个初始纵断面方案,然后在其基础上凭借设计者的经验或利用计算机进行迭代得到最终的纵断面方

案.但这种方法的本质是一个局部寻优的过程,其优化结果主要取决于初始方案的质量.

而遗传算法种群的初始化是由程序自动在搜索空间依次随机均匀地产生变坡点的里程和设计标

收稿日期:2011-03-29 修改稿日期:2011-12-29

基金项目:国家科技支撑计划资助项目编号(2008BAJ08B04-07);陕西省自然科学基金资助项目(2007E232);陕西省教育厅专项基金资助项目(08JK334)

作者简介:王秋平(1962—),女,陕西城固人,教授,博士,主要从事交通规划与管理的教学和科研工作.

高,连接变坡点,根据相邻坡差和坡长配置合适的竖曲线,这样就构成了一个满足坡度、坡长约束的初始纵断面线形方案.根据种群规模大小,重复该过程,形成一组初始纵断面线,构成原始种群.但是遗传算法初始种群的产生随机化较强,在种群规模较小的情况下,可能会漏掉较为优秀的初始方案.因此,在对厂外道路进行拟合的前提下,得到最符合地面起伏的纵断面设计线,在此基础上用网格法生成初始种群,再用遗传算法对这些初始种群进行优化.这几种方法结合到一起用于厂外道路的纵断面优化,既可以克服传统纵断面优化设计的局部优化,又不会使初始群体太随机,得到的结果还将会使填挖方最小,论文按照这种思路展开优化研究.

1 数学模型

采集到的数模原始数据,在进行数据处理后并不能直接用于设计,而需进行内插处理,或先适当加密内插成网格数模,或直接按设计要求内插成设计线数模.原始数据的采样方法和平均密度必须与当地地形起伏相匹配,特别是不能漏掉地形特征信息,否则就会产生地貌上的失真,只有在这一前提下,选择合适的内插方法,才能提高数模的精度.论文采用最小二乘曲线对地面数据进行拟合.

设已知 n 个数据点 (x_i, y_i) ($i = 0, 1, \dots, n-1$), (其中 x_i 表示桩号, y_i 表示高程)

最小二乘拟合多项式为

$$Y_{m-1}(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{m-1}x^{m-1}, \text{ 其中 } m \leq n \text{ 且 } m \leq 30. \quad (1)$$

由地面线桩号和高程数据资料,对纵断面地面线进行最小二乘曲线拟合,可以得到一条平顺的贴地面线的曲线, m 为最小二乘曲线拟合多项式的项数.由试验得:最小二乘曲线拟合次数较低时,拟合曲线较为平顺,曲线的极值点较少;反之拟合次数越高时,拟合曲线越不平顺,曲线的极值点越多.当厂外道路为山岭重丘区时,最小二乘曲线拟合次数应取较大值,当厂外道路为平原微丘区时,即地面线形较为平顺时,最小二乘曲线拟合次数应取较小值^[3].

如图1所示,由拟合线三阶导数为零处的点确定“反弯点”,在反弯点 i 和反弯点 $i+1$ 之间用一元线性回归定出回归线,即为初始坡线.

假定初始坡线方程为: $y = ax + b$. 方程中 x, y 即为初始变坡点的桩号和高程, a, b 为待定系数,其中 a 即坡线所代表坡段的坡率.为确定回归系数 a, b 通常采用最小二乘法,即要使 $Q = \sum_{i=0}^{n-1} [y_i - (ax_i + b)]^2$ 达到最小,故可标定初始坡线方程的系数为

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n (H_i \times S_i) - \sum_{i=1}^n H_i \sum_{i=1}^n S_i}{n \sum_{i=1}^n S_i^2 - (\sum_{i=1}^n S_i)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n H_i - a \sum_{i=1}^n S_i}{n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

在每一个反弯点处,均用一元线性回归的方法定出一段回归线 $y = a_i x + b_i$, 每相邻两条直线相交而产生一个交点,此交点即为变坡点桩号坐标,由此方法产生许多交点,这些交点就可以作为初始纵断面方案中的初始变坡点,这些直线相连而得到的折线可以作为初始纵断面方案中变坡点的连线,即纵断

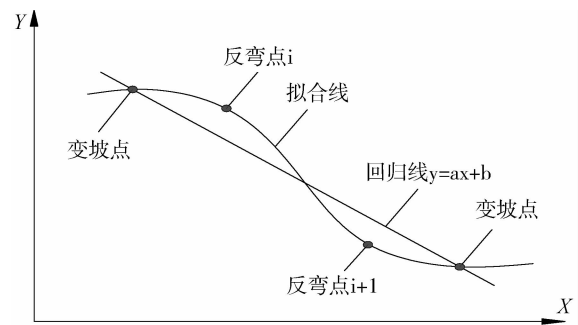


图1 直线拟合示意图

Fig. 1 Schematic diagram of straight-line fitting

面方案中的坡线. 在每个变坡点处根据其凹凸性按规范规定的竖曲线半径的一般值设置竖曲线, 就可以得到符合设计需要的纵断面设计线. 上述拟合成果可直接用于设计, 采用上述设计方法, 与人工拟合相比较, 不但可以节省大量人力和时间, 而且避免了人为误差, 能够快速获得可靠的设计数据. 实践证明, 这种计算方法不但简单、方便, 而且快速、有效.

在没有约束条件下的纵断面最优解更能适应地形的变化, 使整个设计线紧贴地面线. 但由计算机根据纵断面地面线自动生成的初始纵断面方案, 并不能保证其符合规范、技术标准要求以及各种技术经济条件. 因此, 需要对不符合要求的初始纵断面方案进行调整, 使其满足各种约束条件.

以连续两段坡长为单位, 依次对初始纵断面方案进行最小坡长约束检查, 如果某段坡长小于最小坡长, 则认为此段坡长约束破坏, 将两个变坡点进行合并处理; 如果连续两段坡长破坏, 则采用保留中间变坡点, 去掉两边变坡点的处理方法. 反复检查整条路线, 直到最后剩下的变坡点间距满足最小坡长的要求. 在上述调整过程中, 为尽可能地保留初始纵断面方案的基本特征, 对于坡长接近最小坡长的坡段, 采用微调变坡点的方式使其满足最小坡长的要求. 按照规范要求, 对于坡度较大的路段, 需要继续检查其坡长是否超出最大坡长约束. 依次检查每个坡段, 如果出现某段坡长超限的情况, 则根据纵断面地面线在此坡段内增加变坡点, 使其满足最大坡长约束^[4].

2 遗传算法优化纵断面

由计算机自动生成的初始纵断面方案是根据地面起伏情况得到的, 在其基础上目标函数值仍有很大的下降空间. 论文引入遗传算法来对初始纵断面方案进行优化, 采用在初始纵断面方案变坡点附近范围内划分网格的方法寻找更优变坡点位置.

2.1 生成网格

采用网格法来实现纵断面优化的解空间. 生成网格的方法是以初始纵断面方案为基础, 在每个初始变坡点附近构造一个 3×3 的网格. 以每个初始变坡点为中心, 由事先给定的行距 l 和列距 h 构造网格, 并将每个网格的中心点从左下到右上按 1 到 9 的顺序编号 (编号为 5 的网格中心点即为初始变坡点), 如图 2 所示.

这样每个网格中心点就对应了一个相应变坡点的可能位置, 也就实现了纵断面优化的搜索解空间. 设某初始纵断面方案共有 n 个变坡点 (包括设计起点和终点), 每个初始变坡点所对应的 9 个网格中心点都可以与下一个初始变坡点的 9 个网格中心点中的任一个相连, 构成一条可选路径. 在每相邻的两个初始变坡点之间指定一条路径, 整合起来后就是一条连接设计起点和终点的折线, 在不考虑约束条件的情况下, 这条折线所连接的网格中心点就可以看作是一组可能的纵断面设计方案^[4]. 以此类推, 可以产生多个纵断面设计方案, 即初始种群.

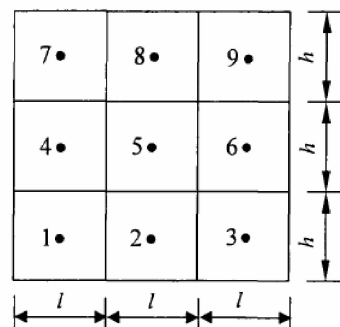


图2 网格划分示意图

Fig. 2 Schematic diagram of grids

2.2 遗传算法优化系统

遗传算法的原理是在算法执行过程中, 每一代有许多不同的种群个体 (染色体) 同时存在, 这些个体的保留 (生存)、淘汰 (死亡), 是根据它们对环境的适应能力来决定的, 适应性强的有更多的机会保留下来. 而适应性强弱是通过计算适应度函数的值来判断的, 这个值称为适应值, 适应值函数的构成与目标函数有密切关系, 往往是目标函数的变种.

2.2.1 编码和解码

遗传算法的基础工作就是解的编码, 只有在编码后才可以进行其他的操作, 而当问题实现了就需要对其进行解码, 两者是相对应的.

2.2.2 初始种群

初始总群的好坏直接影响到最终得到的较优解,以上已经得到了初始种群,个人认为这样的初始种群基因有利于优良后代的产生.

2.2.3 适应度函数

在这里目标函数的选择模型是计算每个方案线偏离地貌路径的差值,求出该值的代数平方和,适应度函数基本上是依据优化问题的目标函数而定,由于遗传算法尽量保留适应值大的个体,当在需要保留最小适应值个体时就需要对原有的函数进行适当变形,论文采用的适应度函数为

$$eval(u_n) = f_{\max} - f \quad (4)$$

其中 f_{\max} 为一个充分大的值,用来保证 $eval(u_n)$ 为正. f 为原目标函数,则第 n 个个体入选种群的生存概率为

$$p_n = \frac{eval(u_n)}{F} \quad (5)$$

其中 F 为适应度值的总和.这样在新的适应度函数下,目标函数中较小的个体的生存概率自然较大.

2.2.4 遗传操作数

遗传操作数是对“遗传群体”进行的操作,包括选择、交叉和变异,该过程操作的好坏直接影响到优化精度高低.这些操作就完成了遗传算法的一次迭代,产生出新的染色体,并替代原种群中适应度最小的个体形成新种群.

2.2.5 终止规则

采用给定一个最大遗传代数 D ,算法迭代代数在达到 D 时候自动停止.该方法简便,不过应采取多个 D 值对比,这样能更全面的反映问题.

2.2.6 约束处理

在进化过程中,如果新一代某一节点与相邻节点间距小于竖曲线长度,则对该染色体采取拒绝策略,重新让其父代染色体进行交叉、变异,如果经过限定次数的操作仍不能产生可行的下代,则其父代直接进入下一代.

2.2.7 算法的形式化描述

为了更直观的反映整个流程,其整个算法的计算机流程如图3所示.

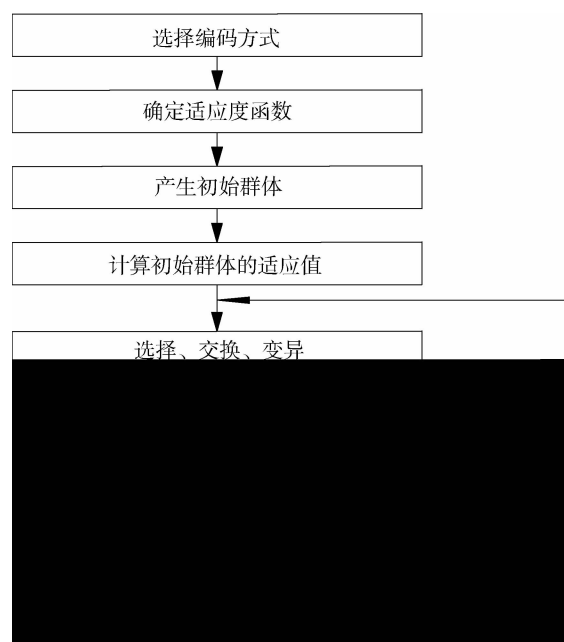


图3 遗传算法的计算流程图

Fig.3 Diagram of genetic algorithm

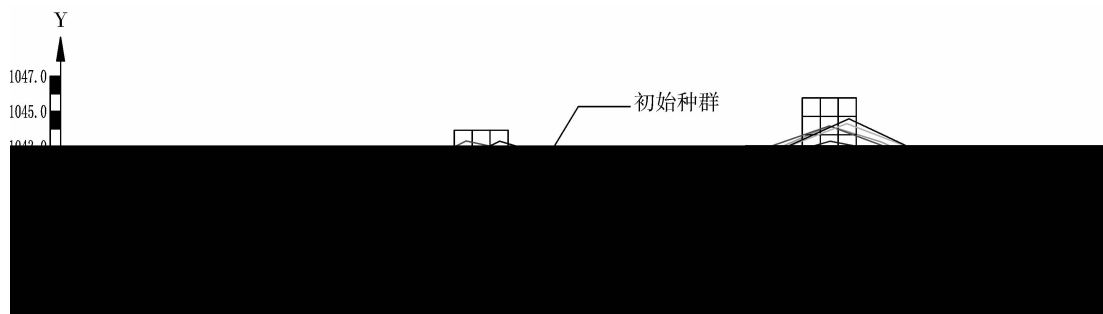


图4 初始种群示意图(单位:m)

Fig.4 Schematic diagram of initial population

3 实例研究

为验证本方法的可行性,现取某热电厂厂外道路中的一段长度为1 000 m的道路原始数据输入程序进行计算.如下图,图4为用网格法生成的初始种群,图5为用三种不同方法所生成的纵断面方案,表1为该三种方案的填、挖方量对比.



图5 纵断面优化示意图(单位:m)

Fig. 5 Schematic diagram of profile optimization

表1 优化结果对比表

Tab. 1 Comparicson of optimization results

SchemeSerial Number	Population	Fill Quantity	Excavation Quantity	Fill&Excavation Total	Save Quantity/%
1		33 202.72	50 970.209	84 172.929	
2	100	28 151.62	36 424.51	64 576.13	23.28
3	100	22 968.83	28 410.03	51 378.86	38.96

方案1为人工拉坡设计的方案,方案2为传统的遗传算法设计的方案,方案3为用网格法生成种群再用遗传算法迭代所形成的方案.由上表得知,利用计算机自动优化的方案均较人工设计的方案在工程量上有一定的降低,而方案3的优化更为明显,并且填挖方量更趋于平衡.论文所选的只是很短的一条厂外道路,相信在实际工程中会有更大空间的优化.

4 结 论

采用了最小二乘曲线法、网格法和遗传算法对厂外道路纵断面进行优化处理,借助计算机进行道路优化设计,用实例验证了该优化方法的可行性和可操作性.采用最小二乘曲线拟合地面线,保证了纵断面的填挖方量最小;用网格法生成初始种群保证了遗传算法的搜索空间;在进化过程中,遗传算法选择、交叉、变异的操作,保证了候选道路方案的多样性.实现了纵断面设计的全局寻优,并且缩短了设计周期,减少了土石方工程量,降低了厂外道路建设成本.

参考文献 References

- [1] 交通部公路规划设计院等. GBJ22-87 厂矿道路设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1991.
The highway planning design institute, GBJ22-87 Minding Road Design Specifications[S]. Beijing:China Architecture and Building Press,1991.
- [2] 邓域才. 铁路规划与机助设计[M]. 北京:中国铁道出版社,1996.
DENG Yu-cai. Railway Planning and Machine Help Design[M]. Beijing:China Railway Publishing House, 1996.
- [3] 陈亿琳、王周庆. 道路改造纵断面线形拟合[J]. 华东公路, 2008(1):1-3.
CHEN Yi-lin, WANG Zhou-qing. Road reconstruction linear fitting cubes[J]. East China Highway, 2008(1):1-3.
- [4] 杨 名. 基于蚁群算法的道路纵断面优化设计[D]. 长沙:中南大学,2008.

- YANG Ming. Based on ant colony algorithm for road Alignment optimization design[D]. Changsha: Central South University, 2008.
- [5] 易思蓉. 铁路工程信息技术[M]. 成都:西南交通大学出版社, 2007.
- YI Si-rong. Railway engineering information technology[M]. Chengdu: Southwest Communication University Press, 2007.
- [6] 朱照宏, 张雨化. 公路计算机辅助工程[M]. 北京:人民交通出版社, 2000.
- ZHU Zhao-hong, ZHANG Yu-hua. Highway Computer Aided Engineering[M]. Beijing: China Communications Press, 2000.
- [7] 廖祖裔. 工业建筑总平面设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1984.
- LIAO Zu-yi. The total plane design of industrial building[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1984.
- [8] 王海君. 道路纵断面自动生成及优化算法的研究[D]. 西安:长安大学, 2001.
- WANG Hai-jun. Road Alignment of Automatic Generation and Optimization Algorithm[D]. Xi'an: Chang'an University, 2001.
- [9] 王秋平. 西安市城市交通调查与数据处理分析系统[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2003, 35(1): 48-51.
- WANG Qiu-ping. Investigation of Xi'an urban traffic and data processing and analysing system [J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. : Natural Science Edition, 2003, 35(1): 48-51.

Study on the profile optimization design of the outside road of factory

WANG Qiu-ping^{1,2}, WANG Lei-juan¹, ZHANG Qi¹, LIU Ting-ting¹, BAI Yang¹

(1. School of Civil Eng. , Xi'an Univ. of Arch. & Tech. , Xi'an 710055, China;

2. State key laboratory of Architecture Science and Technology in west China(XAUAT), Xi'an 710055, China)

Abstract: On the basis of plane alignment, profile optimization design of the outside road of factory uses mathematic method to optimize the profile alignment, improve the quality of route alignment design, and reduce the project investment. By adopting polynomial curve fitting, the ups and downs trend in the ground can be reflected, using Minimum Two Multiplication Principle fitting beelines, where every two beelines intersect at a point, and these points could be regarded as grade change points of the profile. Adjusting these grade change points based on constraints helps get the initial profile project. The authors divided the area around each grade change point into meshes in the initial profile project, and realized the application of profile optimization design for genetic algorithm, which provides a foundation of selection of the initial population. This paper lays emphasis on studying a thermal outside road, using mesh and genetic algorithm in order to carrying out joint optimization on profile point of change of gradient. The result shows that the optimization effect is good, for providing previous design reference for designer and degrading labor of designer and cost of constructing.

Key words: Outside road of factory; Vertical section; Optimization design; Genetic algorithm