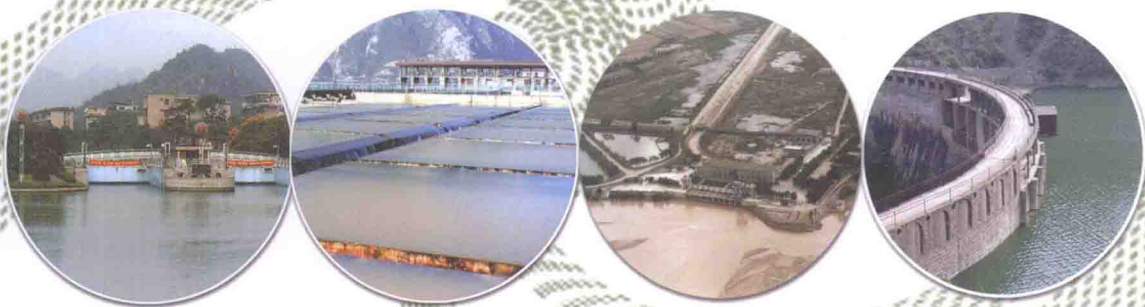


水工杂文

非线性 蓄输扬环境水 地基 沉沙 船闸

黎运棻 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



水工杂文

黎运棻 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系水利工程设计研究方面的工程实践论著,包括非线性规划和模糊数学应用;有关环境水利规划;有关蓄水和输水工程中通用水工建筑物设计;有关多沙河流岸边扬水站工程设计;液化地基处理及振冲桩设计研究;沉沙池研究设计;游览船闸及溢洪船闸设计;部分水工建筑材料应用。

书中理论与实践结合,纳入工程实例,有不少理论创新。

本书可供水利、水电、土建、交通等领域的设计、科研、管理和施工人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水工杂文 / 黎运葵著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014.4
ISBN 978-7-5170-1904-6

I. ①水… II. ①黎… III. ①水利工程—设计—文集
IV. ①TV222-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第075568号

书 名	水工杂文
作 者	黎运葵 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 20.25印张 492千字 8插页
版 次	2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷
印 数	001—500册
定 价	128.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序

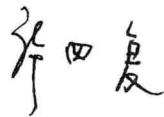
我上世纪六十年代初调到山西省水利厅工作时，黎运棻同志已经是山西省水利系统的技术骨干。今天看到他在耄耋之年出版这本论文集，感到由衷的高兴。

黎运棻同志的家乡是在“桂林山水甲天下，阳朔山水甲桂林”的阳朔。大学毕业后，分配到黄土高原缺水的山西省来搞水利工作，一干就是60年。在这60年中，他好学，钻研，勤奋工作，每做一项工程的设计和规划，都精心细致，付出了大量的精力。他从不机械的照搬硬套规范，也不迷信书本和专家，而是在前人成果的基础上更提升一步，使之更加完善，更符合实际。正如在他前言中说的，在工作中形成了大量的无形资产。而这些资产往往在提交设计后就被封存了，随时间的推移而被淡化，并白白流失，十分可惜。所以他在每项工作中或工作完成后，总要进一步从理论上升华、总结，通过科学分析提出与前人不同的见解，给后人以借鉴，体现了一个科学工作者的优良品质。科学之所以能不断发展，是有无数的前人砌筑了一块一块的垫脚石，使后人可以随之攀登科学的高峰。

作为一名老水利工作者，借此寄望于年轻的水利同行们，以黎运棻同志为样板，在你们的工作中每天有大量的资料、数据和感性认识，有些还是经过你们自己辛苦研究的成果，像水一般的从你身旁流过，切勿随意任之流失，应及时将其收集起来，总结并提升到理论上去分析，将其写出来留给后人，为水利科技的发展增添一块垫脚石。

黎运棻同志把这本书称为杂文，这是他的谦虚，其实篇篇都是他水利工作经验的结晶，有许多创新，可为后来的水利工作者提供借鉴和参考。

特此为序。



2013年3月

前 言

1953年，笔者从武汉大学毕业分配到山西省人民政府水利局设计科（山西省水利水电勘测设计研究院前身）作设计工作，全科共有20多人，当时科里的领导有新中国成立前夕由国外留学归来的水利工程硕士和几位年轻的工程师，是一支对祖国建设充满热情的年轻技术队伍，每完成一项设计任务，倡导写一份技术总结互相交流。虽然那时水平不高，但通过总结交流，增长了知识，提高了水平，给笔者以后的工作颇有启迪作用。

在水利工程设计项目中，从可行性研究到技施设计，要经过不同的设计阶段，进行不同学科专业的试验、计算、研究或方案比选等诸多工作，工程建成后还设有必要的观测内容等，这些工作都要付出相当的人力、经费和时间，也形成了大量无形资产，但这些资产常被停留在提交了设计图纸和文件就存留了，随时间而淡化，可贵的资源得不到及时充分利用，甚为可惜。积半个多世纪的工作实践，深感利用已获资源，及时把设计与科研相结合是促进科技进步之举，本书一些成果是据此所获。

每项工程都有其自身的自然条件和不同要求，要使工程设计符合实际，达到技术先进可靠，经济合理，是要通过努力才能实现的。对待技术问题，不能生搬硬套规范，要以求真务实，创新发展的观念去解决，本书一些成果是在此观念下所获。

水利工程服务于人民，对所承担的设计项目建立感情和爱心是做好设计，提高设计水平之本。对工程有了感情和爱心，必然会攻坚克难，全心投入，精心设计，在完成设计的同时也会有创新，书中成果也是与此有关。

笔者于1996年退休，至今仍从事一些技术工作，也还有新的信息输入，自己也还不断有点成果。2009年10月，时任山西省水利水电勘测设计研究院院长、教授级高级工程师张金凯博士希望我把多年的成果整理成书出版，几经犹豫，才决定整理。摘要和选择了49篇，基本反映了水利工程多类设计，故名《水工杂文》，其中附拙诗一首，略表水文化情怀。一些旧作没有电子版，自己在计算机上逐篇输入，同时也作了补充，以求与时俱进。有几篇成果虽未在刊物上发表，但已成功应用于工程中。本书成果由作者撰写，部分内容与参与研究设计的合作人共同完成，均在文末注明，对他们深表感谢！

书中插图和照片由与作者一起工作过的高级工程师、工程师们，以及家人帮助绘制和拍摄，深表谢意。

92岁高龄的原山西省水利厅厅长、党组书记兼总工程师、享受政府特殊津贴专家许四复教授级高级工程师为本书写序，他曾是笔者的领导，在多年工作中给予指导，使笔者收益颇深，特致以衷心感谢！

由于本人学术水平不高，见识有限，虽几经校正，还会有不完善或错漏之处，愿阅者指正。

水利工程是国民经济的命脉，是美化环境，造福人类社会的一项宏伟事业，值得为此奋斗终生。

孟子曰：“心之官则思。思则得之，不思则不得也。”在此愿与年轻朋友们共勉。

蔡强 2013年3月

目 录

序

前言

一、非线性规划和模糊数学应用	1
厂址选定中最小运输量计算模型和方法	3
应用模糊数学综合判定饱和砂土地震液化的研究	9
二、环境水利	17
桂林市中心城市环境水利规划设计	19
桂林中心城市环境水利回顾和发展研究	26
桂林漓江调节补水发展研究	32
汾河太原城区段治理美化工程（一期）初步设计报告审查意见	37
漓江一级支流遇龙河流域水利生态环境保护的探讨——一项中小流域综合规划的设想	40
三、蓄水输水工程设计研究	45
浑水侧压力试验研究	47
文峪河水库水中填土坝抗震复核计算方法（摘录）	55
土坝边坡稳定计算中的两项分析	59
缓倾角软弱岩层上的重力坝稳定分析计算	69
紫家峪浆砌石拱坝施工期坝体裂缝原因分析	76
汾河二库调整概算评估专家咨询意见	84
砂卵石地基上一座溢流重力坝的坝基抗渗稳定反算分析	89
已建水库中的施工圆形沉井设计与施工	96
几种特殊地层中的隧洞设计与施工对策	105
深埋隧洞的地应力和岩爆问题初步分析	112
黄土水工隧洞结构布置及其施工方法	119
山西省小型水库除险加固初步设计中建筑物设计评述	124
四、扬水工程设计	133
几座黄河岸边扬水站回访分析	135
尊村一级站泵改经验（摘录）	143
黄河禹门口一级站改变泵型选择的意见	144

尊村工程深基坑的大口径群井抽降开挖	149
一座黄河岸边水下泵站设计布置	154
五、液化地基及桩基设计研究	159
海城地震饱和砂基地震液化震害实地考察	161
振冲法加固软基础的原理和应用	167
禹门口沉沙池地基加固工程研究设计	173
禹门口沉沙池地基加固工程检测分析	180
振冲碎石桩的填料量和桩距计算方法	185
振冲碎石桩的桩距研究	190
六、沉沙池研究与设计	197
水利工程沉沙池的设置条件及泥沙沉降设计标准	199
沉沙池位置、类型选择及布置	207
沉沙池主要尺寸拟定	212
沉沙池入池设计泥沙特征值确定	218
几种泥沙沉降速度计算方法比较和应用以及含沙量对沉速影响的分析应用	220
一度流超饱和输沙法应用于沉沙池沿程含沙量变化计算	225
沉沙池沿程分组悬移质含沙量计算式及其恢复饱和系数	229
水利水电工程沉沙池动床泥沙运动计算	234
定期冲洗式沉沙池三阶段冲洗计算	244
沉沙池类型和工程实例	252
黄河禹门口提水工程复合型沉沙池设计研究	268
一座范例沉沙池设计	274
七、游览船闸及溢洪船闸设计	281
桂林市春天湖双线省水船闸及其输水系统特性分析	283
小型游览船闸输水系统工作闸门设计要点	290
溢洪船闸考察调研	293
桃花江双线省水溢洪游览船闸设计	297
八、水工材料	305
几种建筑材料的应用	307
塑料土工网材料应用	312
致谢	315
登叠彩山望两江四湖	

一、非线性规划和模糊数学应用

厂址选定中最小运输量计算模型和方法

【摘 要】 本文以厂址选定时运输量最小为目标,即是使原材料和成品的运输量达到最小,以求节约能源和降低成本。研究成果给出了最小运输量的计算模型和计算方法,可供论证一定类型厂址选定时参考。

【关键词】 厂址选定 最小运输量 计算模型 计算方法

1 问题提出

在许多产品生产中,通常是把原材料运到工厂制造或加工,然后把产品调运到用户。在此过程中,材料和产品都有一个运输量问题。从国民经济总体考虑,使得两者的总运输量达到最小或较小,往往是降低成本,节约能源的一项有效措施。例如,在甲地进行某产品制造,其主要原材料是来自较远的乙地,而大部分产品又返销回乙地,形成迂回倒运,是很不经济的,若在乙地或附近也有同样制造条件,一般来说,厂址选在甲地是不适当的,势必加大了产品成本和商品价格,更明显的是由于运输量增加而增加了能源消耗。故在确定这类产品的厂址时,应从全局出发,考虑总运输量为最小或较小这一因素。笔者在某工程中,遇到选择水工混凝土预制构件厂的厂址问题,经研究,按最小运输量选定了厂址,比原定厂址节省运输量 58%,由此可见,这是值得注意的一个问题。

为使厂址选定得经济合理,往往还要考虑供水、供电、交通、劳动力、技术及生活等因素。若这些因素处于同等或相近情况,尽可能使原料和成品不出现大量迂回倒运现象,使得运输量为最小或较小。本文就如何使得运输量为最小而进行分析研究,得出计算模型和方法。在厂址选择实践中,大致可归纳为三种类型。

类型一:就取材地设厂。当主要原料或材料来自一处或者相邻近的情况,如图 1 中,

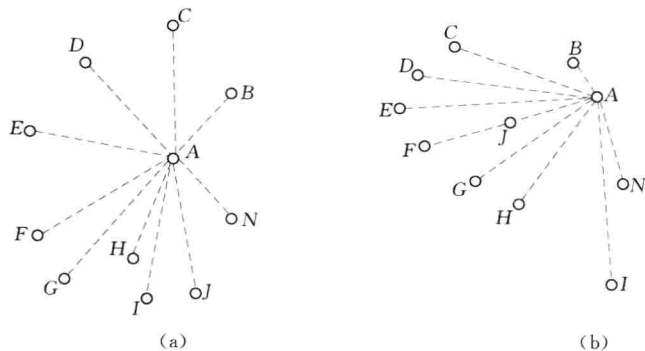


图 1 类型一 原材料及用户分布图

A 点为主要原材料产地, B 点为外地原材料提取地的等距点, C, D, ..., N 为用户地等

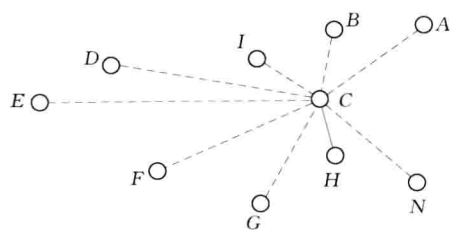


图 2 类型二 主要原材料及用户分布图

距点, 虚线长度表示运输距离。图 1 (a) 为主要原材料在区域内, 图 1 (b) 为主要原材料点 A, B 在边界上, C, D, ..., N 主要用户点的销售量彼此间悬殊不大, 一般来说, 当厂址设在 A 点时, 总运输量可能为最小或较小, 如坑口电厂、循环生产厂址等。

类型二: 就大用户点设厂。如图 2 中, A, B, ..., N 点所示同一类, 但 C 点为大的用户点, 把厂址设在 C 点, 可能会使总运输量最小或接近最小。

类型三: 按最小运输量设厂。在实际问题中, 往往遇到主要原材料产地或提取地相距较远, 各用户或销售地的运输路线因地而异, 应考虑一个最小运输量的厂址, 作为选择厂址的一个条件。如图 6 是一个工程实例, 可通过分析计算得到一个最小运输量的厂址。

2 最小运输量计算方法

设某产品所供给的区域有 n 个批量点 (把若干个用户销量点概化为一个批量点), 各批量点的用量分别为 $a_1, a_2, \dots, a_n$, 这 n 个批量点简称“批点”; 从 m 个原材料场所取材料分别为 $a_{n+1}, a_{n+2}, \dots, a_{n+m}$, 这 m 个原材料场简称“料点”。 $n+m$ 个点的位置以 S_i 表示, 称“批料点”。设定的厂址位置以 F 表示。

如图 3 (a) 所示, 由于实际运输路线是曲折形状, 为了能用数学式表示, F 点至 S_i 点的实际运距改用虚直线表示。即连接 F 点与 S_i 点, 在 FS_i 延长线上取 P_i 点, 使 FP_i 长度等于 F 点到 S_i 点的实际运输路程, P_i 点称“等距点”。 FP_i 分别以 $r_1, r_2, \dots, r_n, r_{n+1}, \dots, r_{n+m}$ 表示 (图 3 中取 $m+n=7$)。

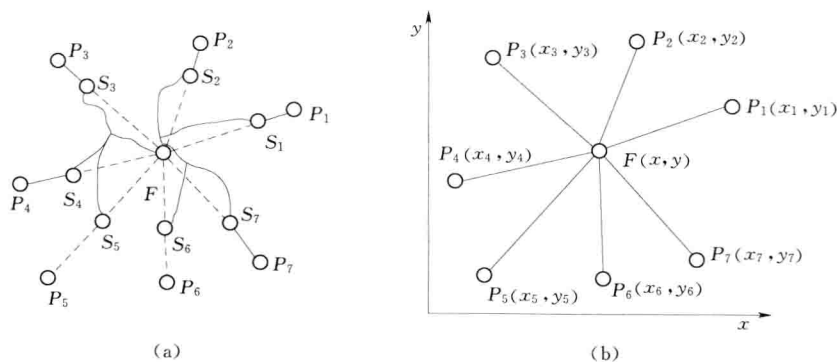


图 3 运输等距点图

于是, 总运输量为:

$$\sum_{i=1}^{n+m} a_i r_i = \sum_{i=1}^n a_i r_i + \sum_{i=n+1}^{n+m} a_i r_i \quad (1)$$

式中 $\sum_{i=1}^{n+m} a_i r_i$ —— 总运输量, $t \cdot km$;
 $\sum_{i=1}^n a_i r_i$ —— 构件运输量, $t \cdot km$;
 $\sum_{i=n+1}^{n+m} a_i r_i$ —— 材料运输量, $t \cdot km$ 。

在图 3 (b) 中, 取平面直角坐标系, 设厂址位置为 $F(x, y)$, 各等距点位置为 $P_i(x_i, y_i)$, 于是得:

$$r_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \quad (2)$$

可见, 总运输量; $\sum_{i=1}^{n+m} a_i r_i$ 是 $F(x, y)$ 两个变量的二元函数, 一旦厂址位置选定, 总运输量也就确定了, 由此得下式:

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^{n+m} a_i \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}$$

令 $N=n+m$, 则

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^N a_i \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \quad (3)$$

求出式 (3) $F(x, y)$ 的最小值, 则表明厂址设在该处时所得运输量最小。通常是求出区域内的极小值, 而后与边界上的最小值比较, 从而确定 $F(x, y)$ 的最小值。由式 (3) 一阶偏导得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(x, y)}{\partial x} &= \frac{\partial \left\{ \sum_{i=1}^N a_i [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]^{\frac{1}{2}} \right\}}{\partial x} \\ &= \sum_{i=1}^N a_i \frac{1}{2} [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]^{-\frac{1}{2}} (2x-2x_i) \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{r_i} (x-x_i) = 0 \end{aligned}$$

$$\text{同理得: } \frac{\partial F(x, y)}{\partial y} = \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{r_i} (y-y_i) = 0$$

得极值必要条件方程组:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{r_i} (x-x_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{r_i} (y-y_i) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

对式 (3) 二阶偏导得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(x, y)}{\partial x^2} &= \sum_{i=1}^N a_i \left\{ -\frac{1}{2} (x-x_i) [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]^{-\frac{3}{2}} (2x-2x_i) + [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]^{-\frac{1}{2}} \right\} \\ &= \sum_{i=1}^N a_i \left\{ [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]^{-\frac{1}{2}} - (x-x_i)^2 [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]^{-\frac{3}{2}} \right\} \end{aligned}$$

因:

$$r = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}$$

$$\frac{\partial^2 F(x, y)}{\partial x^2} = \sum_{i=1}^N a_i \left[\frac{1}{r_i} - \frac{(x-x_i)^2}{r_i^3} \right] = \sum_{i=1}^N a_i \left[\frac{r_i^2 - (x-x_i)^2}{r_i^3} \right] = \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{r_i^3} (y-y_i)^2$$

同理得: $\frac{\partial^2 F(x, y)}{\partial y^2} = \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{r_i^3} (x-x_i)^2$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F(x, y)}{\partial x \partial y} &= \sum_{i=1}^N a_i \frac{\partial \{ (x-x_i) [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]^{-\frac{1}{2}} \}}{\partial y} \\ &= \sum_{i=1}^N a_i \{ (x-x_i) \left(-\frac{1}{2} \right) [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]^{-\frac{3}{2}} (2y-2y_i) + 0 \} \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{-a_i (x-x_i)(y-y_i)}{r_i^3} \end{aligned}$$

令以上二阶导数的值:

$$B = \sum_{i=1}^N \frac{-a_i}{r_i^3} (x-x_i)(y-y_i), A = \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{r_i^3} (y-y_i)^2, C = \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{r_i^3} (x-x_i)^2$$

极小值充分条件为: $B^2 - AC < 0$, A (或 C) > 0 ; 但以上所得 $B^2 - AC = 0$, 由充分条件不能决出是否有极小值, 一般来说, 是把函数 $F(x, y)$ 在区域内所有极值与其边界上的最大最小值进行比较, 然后确定, 但这样相当复杂。在实际问题中, 可由问题的性质, 判定区域内 (或边界附近) 一定有最小值。如果函数在区域内只有一个驻点, 那么该驻点就是要求的极点, 即满足式 (4) 所得的极值也就是最小值。以下进一步用一个力学模型解析。

3 力学模型

笔者应用一个力学模型进一步验证了式 (4) 的实用性, 阐明如下:

(1) 如图 4 (a) 所示, 把一张适当比例的平面图贴在一块水平板上, 图中有实际 i 条运输路线, 在各线路末端为 S_i 点位置, 取 $i=1, 2, \dots, 5$, 在 S_i 处各钻一个光滑小圆孔, 用 i 条长度均为 L 的光滑线穿过。在板面上方将 i 条线的上端点联结在一起, 称此联

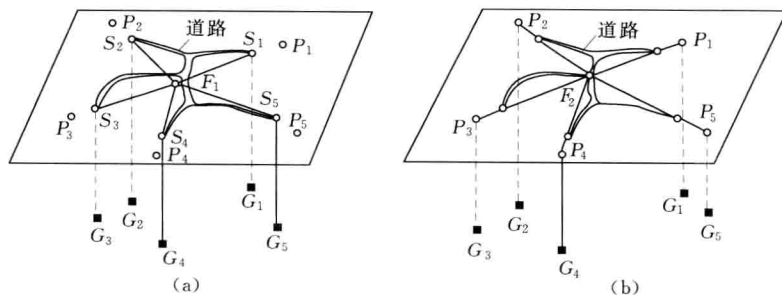


图 4 力学模型示图

结点为“结点”。在板面下方各条线的下端点挂上砝码 G_i ， G_i 的重量与 S_i 点运输重量 a_i 成统一比例。全部砝码挂上后，结点就随各砝码重力移动至 F_1 点得到平衡稳定。如此重复几次，当 F_1 点的位置均不改变， F_1 点即为第一次得到的厂址位置。

(2) 如图 4 (b) 所示，考虑到实际运输线路长度并非 $F_1 S_i$ 的直线长度，而是弯曲的，在 $F_1 S_i$ 连线上取等距点 P_i ，在 P_i 点钻一小孔，如图 4 (b) 所示，以同样方法求得 F_2 点，一般情况， F_2 点即满足我们要求的 F 点。若不满足，再继续寻找 F_3 点，直到相邻两次所找到的 F 点位置相近为止。

此力学模型可证明如下：

如图 5 所示， i 条线的长度均为 L ，各砝码重力平衡后，各 $S_i(P_i)$ 点板面上的线段长度为 r_i ，板面下线段长度为 L_i (略去板厚影响)。将各砝码对水平板面取矩，由式 (5) 求得砝码的重心与水平板面的垂直距离：

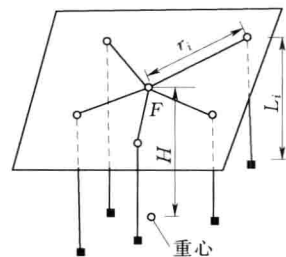


图 5 砝码重力平衡图

$$H = \frac{\sum_{i=1}^N a_i L_i}{\sum_{i=1}^N a_i} = \frac{\sum_{i=1}^N a_i (L - r_i)}{\sum_{i=1}^N a_i} \quad (5)$$

$$H = L - r_i \quad (6)$$

根据实验得知，砝码的重心要降低到可能最低位置，使其距水平板面达到最大^[2]，即 H 达到最大可能值时，结点才能稳定在 F 点，砝码才得到平衡。由式 (6) 可知，要使 H 达到最大值，必然是 r_i 值最小，即：

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^N a_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$$

取最小值，故 F 点满足式 (4)。

另外还可证明，设图 5 中 F 点的坐标为 (x, y) ，各 S_i (或 P_i) 点的坐标为 (x_i, y_i) ，由力系平衡得：

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N a_i \cos \alpha_i &= 0, \quad \sum_{i=1}^N a_i \sin \alpha_i = 0 \\ \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{r_i} (x - x_i) &= 0, \quad \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{r_i} (y - y_i) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

式 (7) 与式 (4) 一致。在实际问题中，可先通过力学模型确定 F 点，而后用式 (4) 进一步计算。很快就可得到满意的结果。

4 算例

某工程有 8 个建筑群点需用预制构件，材料产地、交通路线、建筑群点位置以及材料和构件重量如图 6 和表 1 所示。其中 $S_1, S_2, \dots, S_8$ 为安装点， S_9 为碎石产地， S_{10} 为砂子，水泥及钢筋等取料点，求预制厂位于何点能使总的运输量最小。

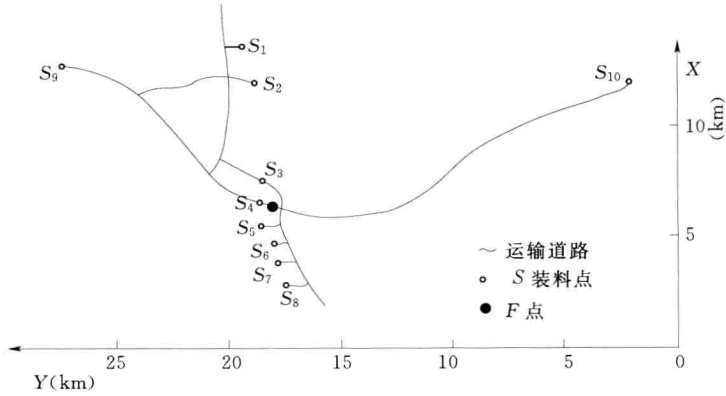


图 6 某工程预制构件及原材料分布图

表 1 最小运输量计算表

1	2	3		4		1	2	3		4	
S_i	运输量 (t)	S_i 位置 (km)		P_i (km)		S_i	运输量 (t)	S_i 位置 (km)		P_i (km)	
	a_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i		a_i	X_i	Y_i	X_i	Y_i
1	1660	13.7	19.4	14.5	19.4	6	1600	4.7	18.0	3.6	17.7
2	1660	12.0	18.8	12.9	18.8	7	1660	3.8	17.8	2.8	17.5
3	1660	7.5	18.5	8.5	18.4	8	3710	2.8	17.4	1.7	17.1
4	1660	6.6	18.6	6.6	18.6	9	12500	12.8	27.4	12.0	28.2
5	8800	5.5	18.5	4.4	18.0	10	10000	12.0	2.1	12.8	2.1

注 表中 P_i 值由图 6 中取 FS_i 延线上的等距点, 图中未示出。

计算成果如下:

(1) 先用表中 a_i 值和 S_i 坐标位置, 由力学模型得到 $F_i(x=6.5, y=18.4)$, 以便在此点附近进一步试求 F 点。

(2) 据 $F_1(x, y)$ 的位置, 考虑路线的弯曲长度给出表中各点的 $P_i(x_i, y_i)$ 值, 同时将表中 a_i 值代入式 (4)。经计算得到 $F(x=6.49, y=18.39)$ 时, 满足式 (4), 并且 $B^2 - AC = -43726546 < 0$ 的条件也满足。于是, 可据实际情况确定厂址位置为 $(x=6.5, y=18.4)$, 或在其邻近。

在此实例中, 比较了在 S_3 和 S_1 点建厂的运输量。计算结果, 分别比在 F_1 点建厂增加运输量 33% 和 58%, 可见厂址选择不当, 增加运输量是很可观的。本例是一个范围很小的运输量问题, 若范围较大, 更有其经济价值。

参 考 文 献

- [1] 樊映川, 高等数学 (下册) [M]. 北京: 人民教育出版社, 1978.
- [2] 武汉大学, 物理学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1980.

应用模糊数学综合判定饱和砂土地震液化的研究

【摘要】 本文应用模糊数学,研究饱和砂土地震液化的主要因素,通过建立隶属函数、模糊矩阵和权重向量,得出液化评定指标及其等级划分,并通过工程实例说明。同时,以本文计算成果与现行规范计算成果进行对比,得到一致的判定。

【关键词】 模糊数学 饱和砂土地震液化等级

实践表明,影响饱和砂土地震液化是多个因素的综合,即使发生液化,也会随着各因素指标的隶属函数不同,其液化程度也表现各异。即是说,尽管其中某因素的影响有所明确,但综合表现却有一定模糊性,据此可用模糊数学进行综合判定^[1]。

1 液化因素集与液化势模糊集

影响饱和砂土地震液化的因素可写成:

$$U=(u_1, \cdots, u_n) \quad (1)$$

式中, $u_1, \cdots, u_n$ 因素对论域 U 的关系为 $u_i \in U$; 根据现行影响因素^[2], 取 $n=7$, 即 u_i 包括 7 项因素, 分别为 $g, h_s, d_s, N_{63.5}, d_w\beta, \rho_c$, 为便于表示, 本文写成 $g, h, S, N, d, \beta, \rho$, 即 $(g, h, S, N, d, \beta, \rho) \in U$, 于是式 (1) 可写为:

$$U=(g, h, S, N, d, \beta, \rho) \quad (2)$$

式中 g ——设计基本地震加速度, m/s^2 ;

h ——地面覆盖的非液化黏性土厚度, m ;

S ——标贯点深度, m ;

N ——自由落锤标准贯入击数基准值, 击;

d ——地面以下地下水位埋深, m ;

β ——调整系数, 设计地震第一组取 0.8, 第二组取 0.95, 第三组取 1.05;

ρ ——黏粒含量百分率, 当小于 3 或为砂土时, 应采用 3。

各因素指标对液化势的影响不同, 如 $N=30$ (击), 可属不液化; $N=2$ (击), 可属液化。各因素可综合构成 4 种状况液化势模糊集: 即不液化、可能液化、很可能液化、液化, 写成:

$$V=(vk; k=1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

在张弘的论文《饱和砂土液化的模糊综合评判方法》(中国力学学会岩土力学专业委员会论文集, 1989, 12: 258-262.) 中, 曾给出 5 组隶属函数分布图, 与上述因素已不完全吻合。

本文作者黎运荣根据上述因素, 去掉张弘给出的 1 组图形, 修改了 2 组图形, 增加了 g, β, ρ_3 组图形, 并由试点法得出上述 7 组因素隶属函数分布图 (图 1)。图中 $k=2$ 和 $k=3$ 的函数呈梯形分布, $k=1$ 和 $k=4$ 的函数图形呈半梯形分布; 横坐标为各因素的指标值, 均由 6 个分界点构成模糊交叉; 纵坐标分别为函数值, 以 r_{ik} 表示, 其中第一个脚标 i