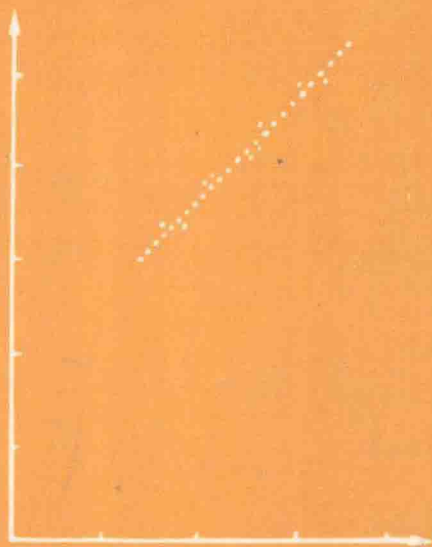


相关分析拟公式与水文地质程序集



中国矿业大学出版社

相关分析拟公式与水文地质程序集

刘忠席 刘景辉 宋其庚著

中国矿业大学出版社

(苏)新登字第 010 号

内 容 提 要

全书共十一章,内容涉及用计算机处理水文地质问题,判别和建立各类回归方程的理论和方法。包括非稳定流和稳定流的剔除法、试算法求水文地质参数;单井、干扰井的涌水量、水位降深预计;计算机绘图与管理;在地质、水文地质、工程、医学、冶金、工农业生产以及人类生活等领域中,筛选原始观测数据、优化和建立相关关系式。以上内容均从原理方法、计算机程序、算例与练习题等角度予以介绍,可读性强,便于应用,适合于广大工程技术人员自学、各院校教学和启发读者开发新的软件及掌握计算机应用的某些技巧。

相关分析拟公式与水文地质程序集

刘忠席 刘景辉 宋其庚著

责任编辑 王景华

中国矿业大学出版社出版
新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷
开本 787×1092 毫米 1/16 印张 8.25 字数 220 千字
1993 年 8 月第一版 1993 年 8 月第一次印刷
印数:1—2000 册

ISBN 7 - 81021 - 451 - 9

P·16

定价:8.80 元

导 言

徐少锦

一

中国是世界闻名的四大文明古国之一，文化遗产丰富多采，思想宝藏博大精深。前贤留下的有关“家训”方面的种种家规、族法、诗文、范例，是这文化宝库中最有特色的部分之一。从浩如烟海的历代古籍中，把闪耀着中华民族智慧之光的、至今仍有借鉴价值的“家训”梳理、筛选出来，作为前辈对后代教育的参考，为建立适应社会主义建设需要的、放眼世界面向未来的、科学的家教学，提供基础性的思想资料，是一件有益于社会、有益于后代的工作。

古代家训或者家教，主要是指父祖对子孙、家长对家人、族长对族人的直接训示、亲自教诲，也包括兄长对弟妹的告诫，夫妻之间的嘱托。后辈贤达者对长辈、弟对兄的希望要求，就其所寓的教育、启迪意义来说，是家训的特殊表现形式。家训属于家庭或家族内部的教育，与社会教育、学校教育相比，虽然有许多共同性，但在教育的主体与客体、教育的内容与方法方面，具有不少的特殊性。比如，家书、家规、遗训等只指向家庭或家族的

成员，不同于一般的童蒙读物之适用全社会儿童。家训是随着家庭的产生而出现的一种教育形式，它随着家庭的巩固、发展而不断丰富、完善。在远古时代的群婚杂居时期，人们是无所谓家的，因而也无所谓家训。家是人类发展到一定历史阶段的产物。按照许慎《说文解字》的解释，“家”是个象形会意字，家字从“宀”，宀象屋之形，是供人居住的房子，屋下养豕（猪），为畜牧经济的象征。“庭”为室中之大者，是家中成员议事的大房子。《尚书·盘庚》中就有盘庚将众人集中于“王庭”，命令他们迁渡黄河“永建乃家”之记载。最初的家有氏族、王族等形式。家庭是以婚姻和血缘关系为基础的一种社会生活组织形式，它是整个社会的组成细胞。有了家，就有对子女、对家庭成员教育的问题。这是为维系家庭的正常生活和参加社会各种活动所不可缺少的。不过，在原始社会公有制的条件下，由于每个氏族没有不同于本部落的特殊利益，因而这种家庭教育实质上就是社会教育。社会一般行为规范即是每个氏族的行为规范。这一时期，家训还处于萌芽状况。家教虽有实践，但只表现为风俗习惯而无文字形式。随着生产与交换的发展，贫富的分化、对立，私有制、阶级与国家的产生，一夫一妻制家庭的形成，贵族、王族与富族的出现，每个家就有了与社会利益相矛盾的乃至对抗的特殊利益。因而父祖对子孙与家庭其他成员的教育，除了包含一般的社会要求之外，还带上了家庭、家族的独特内容，并在世代延续、演进的过程中，不断沉淀下来，累积起来，形成了各具特色的家道、家约，家训、家法、家风、家范、户规、族规、族谕、庄规、条规、宗式、宗约、公约、祠规、祠约等等。从现在掌握的资料看，中国古代的家训，产生于西周，成熟于隋唐，完善于明清。清末酝酿着家训的革命。但其渊源可追溯到五帝时代。

最早重视家训的，是原始社会末期执政的王族或显贵之族。当时虽然没有具体进行家教的记载，但从禅让的情况看，子孙如果

不循父祖之训，缺乏父祖的德行，是不能承续大位的。继黄帝之位的帝颡顼高阳（黄帝之孙）、继高阳之位的帝善高辛（黄帝之曾孙），皆是贤德者。高辛之长子帝挚“不善”，便由其弟帝尧取代。尧之子丹朱“顽凶”（《史记·五帝本纪》），故尧不将帝位传给丹朱而禅让于舜。同样，舜之“子商均亦不肖”（同上书）。“肖”的含义就是象、类似。商均的德行不象舜，因而舜把天子之位传于夏禹。《史记》固然没有直接讲到黄帝、尧、舜家训的问题，但从禅让的情况可以推定，儿孙只有符合父祖辈的心志，才能继承帝王之位。但是，禅让制被世袭制取代以后，继位者的德行一度被忽视了。殷商诸王尽管重视傅保之教，但却忽视了王室成员的家训。比干、微子以叔、兄的身份对商纣王的劝戒，与其说是家训，不如说是臣对君的进谏更为贴切。这种情况到西周初期有了明显的改变。

在社会形态变革与朝代更姓换名的过程中，王族、权贵往往要经历存与亡、兴与衰、荣与辱、乐与苦的翻天覆地般转化。这里既有不可抗拒的客观历史规律的作用，又有王族后代昏庸腐败的影响。某一朝代之兴建于明君贤主，败亡于暴君昏主，个人的德识才学的因素是不可忽视的，而这又与王族的家训有着不可分割的关系。鉴于此，在“家天下”的年代，上层统治集团，特别是刚刚获得统治权的帝王或其有远见的王族成员，往往能够吸取旧王朝覆灭的教训，而重视对王储和王族的其他成员的教戒。《尚书·周书》中的《无逸》、《君奭》、《康诰》、《召诰》和《史记·鲁周公世家》，就记载了西周初年周公对子、侄、兄弟和召公对侄子的教戒。如周公在伯禽去鲁国执政时，教诲他“慎无以国骄人”；教导其侄成王要“知稼穡之艰难”，节制欲望，做到“无淫于观、于逸、于游、于田”，不要放纵任性，“惟耽乐之从”而荒政。召公劝谕其侄成王既“疾敬德”、慎用刑，“亦（勿）敢殄戮”等等。这些篇章思想极其丰富，涉及许多道德规范与法律思

想，既开了帝王家训的先河，又包含有广泛意义上的家教内容，从而标志着中国古代家训的产生。

春秋战国时期，为了改变“位尊而无功，俸厚而无劳”的状况，防止“君子之泽，五世而斩”（《战国策·触誓说赵太后》），在剥削阶级内部财产与权力的争夺中保持和扩大其既得利益，家训在明智的贵族、官吏、士人中得到重视。春秋时，孙叔敖幼年受母教诲，后来成为楚国贤相；鲁大夫文伯之母敬姜以亲自纺丝绩麻的行为，勉励儿子勤劳勿息，受到孔子的称赞；战国时，齐相田稷子将受贿所得百镒钱送给母亲，受到严厉批评后退还原主，保持了廉洁；至于孟母三迁、断机教子和曾父烹豕存教的故事，更是传为佳话。西汉时期，王陵母亲伏剑而死，以固其子忠于刘邦之志；受她影响，东汉时赵苞母亲也冒死勉励儿子弃母子私恩，存民族大义。晋代皇甫谧在叔母启发下，改变了“游荡过度”的坏习惯，“手不辍卷”地日夜苦读，终成著名学者。这些家教实践，都收到良好效果，对后世影响甚大。其不足处是缺乏理论总结；中国虽有班昭的《女诫》，也只是对女训作了较系统的论述。总的来说，此时的家训尚无完整的理论著作。

隋唐时期，中国社会在经过三国、两晋、南北朝 300 多年分裂动乱之后，得到了全国统一与相对稳定。其间统治阶级内部争斗不已，倾轧激烈，权力更迭频繁，社会动荡不安，昏君庸主们身丧国灭，羸弱无能的官吏转死沟壑之间，游手好闲的贵族子弟流离失所。唐太宗所颁布的《刊正氏族诏》对这段历史作了这样的概括：“自有魏失御，齐氏云亡，市朝既迁，风俗陵替，燕赵右姓，多失衣冠之绪，齐韩旧俗，或乖德义之风，名虽著于州闾，身未免于贫贱”（《全唐文》卷 6）。这大量严酷的事实，激起了封建地主阶级中名君贤臣的反思。他们从家训的角度在理论上研究如何使国家长治久安、使子孙永享富贵的问题。这样就产生了颜之推的《颜氏家训》和唐太宗的《帝范》。家训思想理论化、系统化，

目 录

序	李义昌
前 言	(1)
第一章 在单孔稳定流抽水试验中应用经验公式求渗透系数和补给半径	(1)
1.1 问题的提出	(1)
1.2 原理和方法	(1)
1.3 计算机程序与说明	(1)
1.4 算例	(3)
1.5 练习题	(3)
第二章 用曲线相关系数 R 值法判别和建立涌水量曲线方程	(4)
2.1 问题的提出	(4)
2.2 原理和方法	(4)
2.3 计算机程序与说明	(7)
2.4 算例和说明	(10)
2.5 练习题	(12)
第三章 在非稳定流抽水试验中用泰斯公式的近似表达式求水文地质参数	(14)
3.1 概 述	(14)
3.2 原理和方法	(14)
3.3 计算机程序与说明	(16)
3.4 算例和操作指南	(17)
3.5 练习题	(19)
第四章 用试算法对非稳定流抽水试验的资料进行求参	(23)
4.1 概 述	(23)
4.2 原理和方法	(23)
4.3 计算机程序与说明	(25)
4.4 算例和操作指南	(31)
4.5 练习题	(34)
第五章 剔除法求水文地质参数	(39)
5.1 概 述	(39)
5.2 原理和方法	(39)
5.3 计算机程序与说明	(41)
5.4 算例与说明	(49)

5.5 练习题.....	(52)
第六章 用干扰井资料预计疏干水位降深和设计单井涌水量	(56)
6.1 原理和方法.....	(56)
6.2 计算机程序与说明.....	(57)
6.3 算例和操作指南.....	(60)
6.4 练习题.....	(61)
第七章 求某过水断面的流量与绘水头线图	(62)
7.1 概 述.....	(62)
7.2 计算机程序与说明.....	(62)
第八章 《水文地质程序库 1》的有关说明	(70)
8.1 概 述.....	(70)
8.2 《水文地质程序库 1》的构成	(70)
8.3 应用举例.....	(82)
8.4 应用环境和操作说明.....	(86)
8.5 练习题.....	(86)
第九章 经验公式的判型与选取问题	(91)
9.1 问题的提出.....	(91)
9.2 经验公式的判别和选取.....	(91)
9.3 计算机程序与说明.....	(93)
9.4 算例和应用中需注意的问题.....	(97)
9.5 练习题.....	(98)
第十章 用微机筛选线性相关的微据和建立直线方程.....	(100)
10.1 概 述.....	(100)
10.2 计算机程序与说明.....	(100)
10.3 算例与说明.....	(104)
10.4 练习题.....	(107)
第十一章 行编辑程序软件和 WS 软件的应用与技巧	(109)
11.1 有关的应用技巧.....	(109)
11.2 行编辑软件的应用和技巧.....	(109)
11.3 WS 软件的应用	(113)
11.4 行编辑程序软件和 WS 软件在试题库建设中的应用与技巧	(113)
主要参考文献.....	(117)

第一章 在单孔稳定流抽水试验中应用经验公式 求渗透系数和补给半径

1.1 问题的提出

在用稳定流抽水试验资料求水文地质参数时,一般存在只有一个裘布依方程而含两个未知数的情况,即渗透系数 K 和补给半径 R 都是未知的情况。若只有一个抽水孔资料,可以采用包含渗透系数 K 的经验公式 $R=f(K)$ 代入裘布依公式,用试算法求出渗透系数 K 值和补给半径 R 值。

1.2 原理和方法

承压水完整井的稳定流涌水量计算公式为 $Q=(2\pi KMS)/\ln(R/r_0)$, 补给半径 R 的经验公式可用吉哈尔特公式 $R=10S(K)^{\frac{1}{2}}$ 求得。将其代入上式得:

$$K = \frac{Q}{2\pi MS} \ln[10S(K)^{\frac{1}{2}}/r_0] \quad (1-1)$$

潜水完整井的稳定流涌水量计算公式为 $Q=[\pi K(2H-S)S]/\ln(R/r_0)$, 补给半径 R 的经验公式可用库萨金公式 $R=2S(KH)^{\frac{1}{2}}$ 求得。将其代入上式得:

$$K = \frac{Q}{\pi(2H-S)S} \ln[2S(KH)^{\frac{1}{2}}/r_0] \quad (1-2)$$

由于(1-1)、(1-2)两式是关于 K 的超越方程,很难从等式中解出 K ,所以采用试算法。先假设一个 K_0 按(1-1)或(1-2)式计算得一个 K' ,若 $K_0=K'$,则说明假设的 K_0 是正确的,否则再假设一个 K_0 再算,直至 $K_0=K'$ 为止。为满足不同精度的要求,程序中要求使用者自己输入精度标准 JD 。下面的例题中是假定当 $|K_0-K'| \times 2/(K_0+K') < JD=10^{-4}$ 时,即认为 $K_0=K'$,此时 K_0 即为所求的 K 值。

程序中计算机自动给出首次假设整数值 $K_0=1$,然后,每次都由本次计算的 K' 作为下一次的假设值反复计算,直到满足精度要求为止。程序后半部分提供了用大井法预计给定设计降深求涌水量的预计功能。

注:本程序具有通用性。若选用的不是吉哈尔特公式或库萨金公式而是其它经验公式时,只要更改 180 语句即可。

1.3 计算机程序与说明

〔程序说明〕

Q—— Q , 抽水井或钻孔的涌水量, m^3/d ;

H_0 —— H , 静止水位, m ;

R —— R , 补给半径, m ;

K —— K , 渗透系数, m/d ;

S —— S , 井中水位降深, m ;

JD ——精度;

$PB\$$ ——判别承压水和潜水用字符串;

R_0 —— r_0 , 抽水孔半径, m ;

M —— M , 承压含水层厚度, 潜水无用可赋值为 1 或输静止水位值。

〔 计算机程序 〕

```
10 REM SWENlp
20 PRINT " * * * * * 现在进入稳定流求参 * * * * *"
30 LPRINT CHR$(27); "G": LPRINT " * * * * * 稳定流求参 * * * * * ": LPRINT CHR$(27);
   " "
40 INPUT "单位是: 1——(米/日), 2——(米/时), 3——(升/秒)"; D
50 IF D = 1 OR D = 2 OR D = 3 THEN 70
60 GOTO 40
70 DW$ = "(米/日)"
80 PRINT "输-1 则结束"
90 INPUT "涌水量="; Q
100 IF Q = -1 THEN END
110 IF D = 2 THEN Q = Q * 24
120 IF D = 3 THEN Q = Q * 24 * 3.6
130 LINE INPUT "选: 1——承压水, 2——潜水?"; PB$
140 IF PB$ = "1" OR PB$ = "2" THEN 160
150 GOTO 130
160 INPUT "输原始水位, 厚度, 井半径, 水位降深, 精度="; H0, M, R0, S, JD
170 A = Q / 3.1415926 / S : K = 1
180 R1 = 10 * S * SQR(K) : R2 = R1 / 5 * SQR(H0)
190 IF R0 > 2 THEN R1 = R0 + R1 : R2 = R0 + R2
200 IF PB$ = "1" THEN K1 = A / 2 / M * LOG(R1 / R0) : R = R1 : GOTO 220
210 K1 = A / (2 * H0 - S) * LOG(R2 / R0) : R = R2
220 IF ABS((K - K1) * 2 / (K + K1)) > JD THEN K = K1 : GOTO 180
230 GOSUB 370
240 IF PB$ = "1" THEN LPRINT TAB(15); " % % % % 承压水的原始资料 % % % % "
250 IF PB$ = "2" THEN LPRINT TAB(15); " % % % % 潜水的原始资料 % % % % ": M = H0
260 LPRINT "Q="; Q; " r="; R0; " H0="; H0; " M="; M; " S="; S; PRINT
270 LPRINT TAB(8); " % % % % 结果 % % % % "
280 LPRINT "渗透系数 K="; K; DW$; " 补给半径 R="; R; "(米)"; LPRINT "精度 JD="; JD
290 IF R0 < 2 THEN 360
300 LPRINT; LPRINT "下面是预计情况"; LPRINT
```

```

310 LPRINT "设计降深"; INPUT "S="; S; LPRINT S
320 IF S=-1 THEN 360
330 IF PB$="1" THEN Q=3.1415926#*K*M*S/(LOG(R/R0))*2
340 IF PB$="2" THEN Q=3.1415926#*K*(2*H0-S)*S/(LOG(R/R0))
350 LPRINT "涌水量 Q="; Q; GOTO 310
360 GOSUB 370; GOTO 80
370 LPRINT "*****"; RETURN

```

1.4 算例

运行时按程序中的汉字提示操作即可。

【例】 某地长兴灰岩潜水含水层的平均厚度为 43.6m, 在此含水层中打一完整井, 井径为 0.15m, 当水位下降 2.8m 时, 获得涌水量为 2380m³/d。求渗透系数和补给半径。

因本题是潜水含水层, 单位是 m 与 d。所以, PB\$="2", M 对潜水无用, 可任意赋值。
 $Q=2380\text{m}^3/\text{d}$, $H=43.6\text{m}$, $S=2.8\text{m}$, $r_0=0.15\text{m}$, JD 在本例中随便给为 10^{-4} 。

运行结果如下:

```

***** 稳定流求参 *****
*****
%%%%%%%%潜水的原始资料%%%%%%%%
Q=2380(m³/d) R0=2.8(m) H0=43.6(m) M=43.6(m) S=0.15(m)
%%%%%%%%结果%%%%%%%%
渗透系数 K=22.65695 (m/d)      补给半径 R=176.0078(m)
精度 JD=0.0001
*****

```

1.5 练习题

1-1 在砂岩承压含水层中打一完整井进行稳定流抽水试验。抽水井半径为 0.062m, 涌水量 $Q=12.5\text{L/s}$, 水位降深 $S=2.65\text{m}$, 含水层厚度 $M=13.5\text{m}$ 。求砂岩的渗透系数和补给半径?

1-2 在灰岩潜水含水层中, 打一完整井。抽水试验结果是水位降深 6.34m 时获得涌水量为 11.4L/s, 井半径为 0.155m, 含水层厚度 94.91m。求灰岩的渗透系数和补给半径?

1-3 在厚度为 57m 的承压含水层中, 打一完整井进行抽水试验。井半径为 0.065m, 涌水量 $Q=112\text{m}^3/\text{d}$, 水位降深 $S=31\text{m}$ 。求该含水层的渗透系数和补给半径?

1-4 川西平原某地潜水含水层由含砾中砂组成, 隔水底板为绿色粘土岩。为了求渗透系数在含水层中打一完整井进行抽水试验。抽水井半径为 0.16m, 涌水量 $Q=129.6\text{m}^3/\text{d}$, 水位降深 $S=0.32\text{m}$ 。求砂岩的渗透系数和补给半径?

1-5 在灰岩潜水含水层中打一完整井并进行抽水试验。已知: 抽水井半径为 0.155m, 涌水量 $Q=984.96\text{m}^3/\text{d}$, 水位降深 $S=6.34\text{m}$, 含水层厚度 $H=94.91\text{m}$ 。求灰岩的渗透系数和补给半径?

第二章 用曲线相关系数 R 值法判别和建立涌水量曲线方程

2.1 问题的提出

在水文地质勘探中,建立涌水量曲线方程、预计涌水量是经常性的水文地质工作。在各类矿床的设计、生产中,矿井涌水量的多少直接制约着采掘方案的制定。它是确定矿井排水方法、制定疏降措施、购置排水设备的重要依据。准确地预计涌水量将会更合理地开发国家资源。所以,预计涌水量是地质勘探和生产矿井中必须解决的问题。

目前,涌水量的预计方法很多。如:水文地质比拟法、相关分析法、地下水动力学法、水量均衡法、数值法等。这些方法各有千秋。相关分析法主要有以下优点:

第一,联系实际性强。它从实际中来又应用到实际中去,从其自身的特点找出规律去预计,所以较准确。

第二,灵活性强,投入工作量少。可以随时调整方程的系数和曲线类型。现在许多矿井的涌水量预计还是应用勘探阶段或建井初期的资料,对于开采时变化了的水文地质条件已不适用。此时,如果用地下水动力学法预计,往往要再做许多水文地质调查工作。而用相关分析法,则不用投入新的调查工作,只要把新出现的长期观测资料取来运算,就可得到新的方程。所以,用相关分析法修整目前矿井涌水量比较方便、经济。

第三,通用性强,无论在什么地区、什么条件都能应用。如:孔隙、裂隙、岩溶等各类含水层;在勘探、建井、生产、供水等各个阶段均可适用。在条件改变时能马上调整方程、准确预计。用相关分析法预计时,只是参加运算的原始数据有所改变,而计算方法不变,不必像地下水动力学法那样,每改变一个水文地质条件就要调查寻求新的公式。况且地下水动力学中不可能有适合各种条件的计算公式,现有的公式也要附加许多理想化的假设条件。依这一点看,对变化的具体工作区而言,选用现有的地下水动力学公式,常只具有半经验公式的作用。

第四,计算量虽大,但计算机的计算速度快。

基于这些情况,笔者认为应当推广相关分析法在涌水量预计中的应用。通过分析可知:在影响涌水量大小的诸多因素中,水位降深是主要的影响因素;同时,由于二元相关分析较简单,也便于使用,所以人们喜欢应用。下面介绍用曲线相关系数 R 值法判别和建立 $Q-S$ 二元相关方程及涌水量预计的问题。

2.2 原理和方法

(1) 涌水量曲线方程类型及其线性化

众所周知,涌水量曲线有 4 种:直线型、抛物线型、幂函数型、对数型。曲线方程经过变换,都能转化为直线型,如表 2-1 所示。

反过来,只要建立变换后的回归直线方程,就可以写出相应的回归曲线方程。

表 2-1 涌水量曲线方程类型及其线性化

方程类型	原方程 $Q=f(S)$	变 换	变换后的直线方程 $Y=f(X)$
直线型	$Q=A+BS$		
抛物线型	$S=AQ+BQ^2$	$Y=S/Q \quad X=Q$	$Y=A+BX$
幂函数型	$Q=AS^B$	$Y=\ln Q \quad X=\ln S$	$Y=\ln A+BX$
对数型	$Q=A+B\ln S$	$Y=Q \quad X=\ln S$	$Y=A+BX$

(2) 回归直线方程的建立

若 $S_i, Q_i (i=1, 2, \dots, n)$ 近似呈直线关系,就可以用直线方程 $Q=A+BS$ 来拟合,建立回归直线方程 $Q'=A+BS$ 。不同的 A 和 B 可以得无数个直线方程。我们确定一组 A, B ,使得在 S 相同时,用回归直线方程 $Q'=A+BS$ 来求出的回归值 Q_i' 与观测值 Q_i 的差值都最小,用最小二乘法 ($\sum(Q_i - Q_i')^2 = \text{最小}$) 求得这组 A 和 B 是:

$$B = \frac{\sum(Q_i - S_i)(Q_i - S_i)/n}{\sum(S_i)^2/n - (\sum S_i/n)^2}$$

$$A = (\sum Q_i - B \sum S_i)/n$$

式中 S_i ——实际水位降深, m;

Q_i ——实际水位降深 S_i 相对应的钻孔或井的涌水量, m^3/d ;

n ——观测组数, $\sum$ 含义为 $\sum_{i=1}^n$, 下同。

把 A, B 值代入 $Q=A+BS$ 中, 便得回归直线方程: $Q'=A+BS$ 。

若 $S_i, Q_i (i=1, 2, \dots, n)$ 近似呈曲线展布, 则经表 2-1 的线性化变换即成直线方程。按上述方法求出变换后的直线方程, 然后再还原成曲线方程即可。方程可求, 但哪类曲线方程为最好呢?

(3) 用曲线相关系数 R 选取曲线方程

以往一些《水文地质手册》和水文地质教科书中介绍有: 曲度 n 值法、单位涌水量法、伸直法(图解法)、曲线拟合误差 C 值法等方法可判别涌水量方程类型, 并指出用曲线拟合误差 C 值法判别方程类型最好。但笔者认为不宜用此法判型, 应以曲线相关系数 R 值法判型为佳。 R 值可通过下式计算:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum(Q_i - Q_i')^2}{\sum(Q_i - Q_p)^2}} \quad (2-1)$$

式中 R ——曲线相关系数;

Q_i ——实际观测涌水量, m^3/d ;

Q_i' ——与实际观测涌水量 Q_i 对应的回归值, m^3/d ;

Q_p ——各实际观测涌水量 Q_i 的平均值, m^3/d 。

下面以对数型曲线为例说明为何(2-1)式中的 R 值可以评价和判别涌水量曲线方程。

设对数型曲线方程的一般形式为:

$$Q=A+B\ln S$$

其中, A, B 为待定系数, 可由最小二乘法求得:

$$B = \frac{\sum(Q_i - \ln S_i)(Q_i - \ln S_i)}{\sum(\ln S_i)^2/n - (\sum \ln S_i/n)^2} \quad (2-2)$$

$$A = (\sum Q_i - B \sum \ln S_i)/n \quad (2-3)$$

把(2-2)、(2-3)式代入 $Q = A + B \ln S$ 中得回归曲线方程为:

$$Q' = Q_p + B(\ln S - (\ln S_i)_p) \quad (2-4)$$

式中 $(\ln S_i)_p = 1/n \times \sum(\ln S_i)$ 。

在建立此方程时, 我们是要求 $\sum(Q_i - Q'_i)^2 = \text{最小}$ 。把(2-2)、(2-4)式代入此式并整理, 得:

$$\begin{aligned} \sum(Q_i - Q'_i)^2/n &= \sum[(Q_i - Q_p) - B(\ln S_i - (\ln S_i)_p)]^2/n \\ &= \sum[(Q_i - Q_p) - \frac{\sum(Q_i - \ln S_i)(Q_i - \ln S_i)/n}{\sum(\ln S_i)^2/n - (\sum \ln S_i/n)^2} \\ &\quad \times (\ln S_i - (\ln S_i)_p)]^2/n \\ &= \sum[(Q_i - Q_p) - B(\ln S_i - (\ln S_i)_p)]^2/n \\ &= 1/n \times \sum(Q_i - Q_p)^2(1 - R^2) \end{aligned}$$

即: $\sum(Q_i - Q'_i)^2/n = 1/n \times \sum(Q_i - Q_p)^2(1 - R^2)$, 解出 R 即为(2-1)式。

R 值的绝对值可以说明回归曲线方程与实测散点的拟合程度, 即 R 越接近 1, 说明回归曲线方程 $Q = f(S)$ 与实测数据 $Q_i, S_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 越接近。显然, $Q = f(S)$ 曲线通过所有的实测点、预计涌水量等于实际涌水量时为最佳。从(2-1)式可以看出 R 的绝对值在 0~1 之间变化。 R 越接近 1, $\sum(Q_i - Q'_i)^2$ 就越小, 当 R 最大取值为 1 时, 有 $\sum(Q_i - Q'_i)^2 = 0$, 即在各相同降深 S_i 处预计涌水量 Q'_i 和实际涌水量 Q_i 都相同。所以说, R 越接近 1, 预计的涌水量越好。

R 值的相对大小可用来判别曲线方程的类型。对一组实际资料 $Q_i, S_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$, 一般 $Q-S$ 之间关系呈相关关系, R 不等于 1。我们希望能够找到 R 最接近 1 的那条曲线。

对于直线、幂函数曲线、抛物线等, 也可以先按最小二乘法求出待定系数建立方程, 然后把 S_i 代回曲线方程求得相应的回归值 Q'_i 来。把 Q'_i 代入(2-1)式。即可分别求出曲线相关系数, 分别令其为 $R(1), R(2), R(3)$ 、对数型为 $R(4)$ 。因为求 $R(1), R(2), R(3), R(4)$ 时用的是同一组数据, 为此, $\sum(Q_i - Q_p)^2$ 是一个常数, Q_i 也固定, (2-1)式中 R 的大小只取决于回归值 Q'_i 的多少。 Q'_i 的数值受待定系数的不同和方程类型的变化控制。

分析可知, 前者对 Q'_i 的影响已包含在确定 $R(1) \sim R(4)$ 的过程之中。因为我们求待定系数、回归值 Q'_i 时采用的是最小二乘法, 按最小二乘法求待定系数建立方程, 保证了回归曲线方程[直线型为 $Q' = A + BS$ 、对数型为(2-4)式]是同一类曲线族中与实测点拟合最好的那一条曲线方程。这样, 方程类型的不同就决定了 $R(1) \sim R(4)$ 数值上的差异。寻找 R 最接近 1 的曲线问题, 就是比较 $R(1) \sim R(4)$ 相对大小的问题。所以, 曲线相关系数 R 说明了 $Q-S$ 曲线关系的密切程度。 R 值的相对大小可作为判别曲线方程类型的依据, R 值的绝对大小可用来说明回归曲线方程的实用价值。用曲线相关系数 R 值判别和建立涌水量曲线方程的计算量很大, 手工算很难进行。而应用计算机则很容易完成, 程序中选取 $R(1) \sim R(4)$ 之中数值最大的 $R(G)$ 来确定曲线方程

2.3 计算机程序与说明

本程序首先把涌水量曲线方程线性化,见表 2-1;其次按直线型方程 $Y=f(X)$ 求出斜率和截距;再次,回代获得各曲线方程,同时求出各回归值和相应的曲线相关系数 $R(J)$;最后,选 $R(J)$ 最大的方程打印。用这个方程就可预计设计降深的涌水量或设计涌水量的疏干水位降深。计算机还可依此程序绘出 $Q-S$ 散点图和曲线图。

(1) 计算框图

计算框图如 2-1 所示。

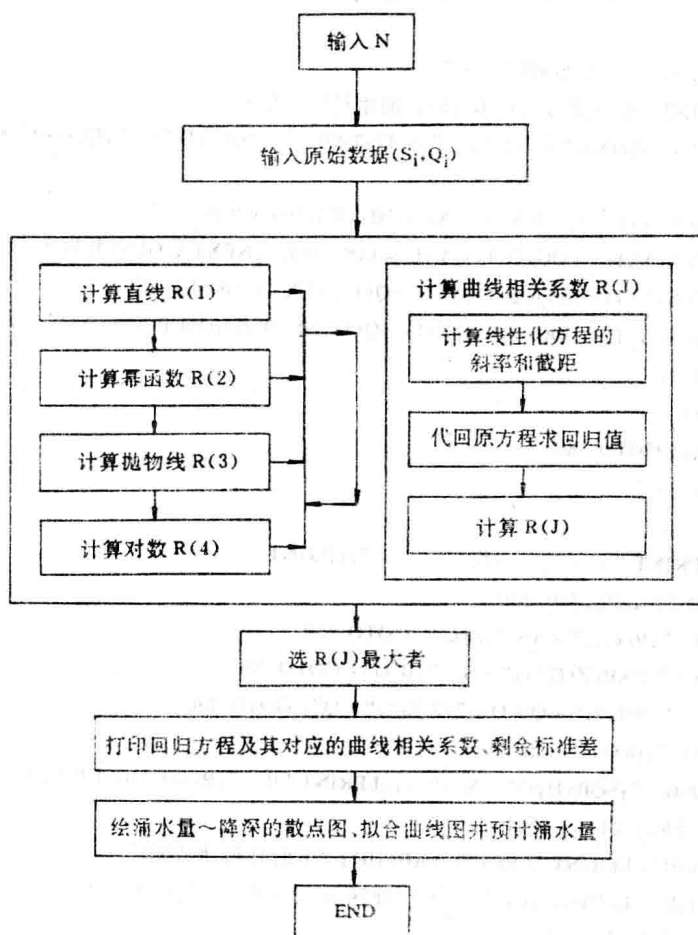


图 2-1 计算框图

(2) 计算机程序

〔主要标识符说明〕

- N—— n , 观测组数;
- S(N)—— $S(N)$, 水位降深数组;
- Q(N)—— $Q(N)$, 涌水量数组;
- R(J)—— $R(J)$, 曲线相关系数;

$B(J)$ —— $B(J)$, 回归系数;

$Z(J)$ —— $Z(J)$, 直线回归方程的截距。

〔 计算机程序 〕

```
10 REM Sgslp
20 INPUT "输入涌水量——降深组数 N=";N
25 DIM S(N),Q(N),X(N),Y(N)
30 FOR I=1 TO N: READ S(I),Q(I);NEXT I
40 PRINT;PRINT "!!! 现在正在建立涌水量曲线方程与绘图!!!"
50 GOSUB 350
60 LPRINT TAB(8);" * * 原始数据 * *"
70 LPRINT ;LPRINT "水位降深";TAB(15);"涌水量";LPRINT
80 FOR I=1 TO N: LPRINT "S(";I;")=";S(I);TAB(15);"Q(";I;")=";Q(I);NEXT I
90 J=0
100 FOR I=1 TO N: X(I)=Q(I);Y(I)=S(I);NEXT I;GOSUB 360
110 FOR I=1 TO N: X(I)=LOG(Q(I));Y(I)=LOG(S(I));NEXT I;GOSUB 360
120 FOR I=1 TO N: X(I)=S(I)/Q(I);Y(I)=Q(I);NEXT I;GOSUB 360
130 FOR I=1 TO N: Y(I)=LOG(S(I));X(I)=Q(I);NEXT I;GOSUB 360
140 W=R(1);G=1
150 FOR J=1 TO 4
160 IF W>=R(J) GOTO 180
170 W=R(J);G=J
180 NEXT J
190 LPRINT ;LPRINT " * * * * 方程 * * * * ";LPRINT
200 ON G GOTO 210,220,230,240
210 LPRINT "Q=";B(G);" * S+";Z(G); GOTO 250
220 LPRINT "Q=";EXP(Z(G));" * S^";B(G); GOTO 250
230 LPRINT "S=";B(G);" * Q * Q+";Z(G);" * Q"; GOTO 250
240 LPRINT "Q=";B(G);" * ln(S)+";Z(G)
250 LPRINT "QSB=";SQR(H(G)/(N-2));;LPRINT "R=";R(G);GOSUB 350
260 INPUT "预计吗? (1——预计)";UV
270 IF UV=1 THEN LPRINT ;LPRINT TAB(10);"下面是预计情况:"
280 IF UV=1 THEN LPRINT ;INPUT "水位降深 S=? (输-1 则结束)";S1
290 IF S1=-1 THEN UV=0
300 IF UV=1 THEN LPRINT "水位降深 S=";S1;X=S1;J=G; GOTO 490
310 INPUT "{作图吗? (y/n) [使用 GWBASIC 时,应在进入前先运行 SGP ab 后进入]}";V$
320 IF V$="Y" OR V$="y" THEN TT=0;GOSUB 570;GOSUB 1160 ;LPRINT " * * * * 拟合曲线
 * * * * ";LPRINT
330 GOSUB 350
340 END
350 LPRINT " * * * * * * * * * * * * * * * * ";RETURN
360 A=0;C=0;D=0;H=0
370 FOR K=1 TO N: X=0;Y=0
```