

地下水对混凝土的 pH_s 分解性侵蚀判别式

李云峰, 万伟锋, 付晓刚, 郭婷婷, 何建军, 张希雨

(长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 针对地下水对混凝土分解性侵蚀指标 pH_s , 现行评价方法中存在水样间 pH_s 横向没有可对比性和难以定量绘制 pH_s 分解性侵蚀分区图等两大缺陷, 推出了一个新的 pH_s 分解性侵蚀判别式 sk_1 , 用编制的“地下水对混凝土分解性侵蚀判别式计算程序”, 完成了新定义的判别式 sk_1 的计算, 计算结果不但具备了水样间的每种分解性侵蚀横向对比的功能, 而且还具备了定量绘制每种分解性侵蚀分区图和定量绘制3种分解性侵蚀综合评价迭加图的功能。通过实例应用, 形象地印证了现行评价方法存在的缺陷及现推出的判别式、定量编绘侵蚀分区图的可行性。

关键词: 混凝土; 分解性侵蚀; 侵蚀指标 pH_s ; 侵蚀判别式; 分区图

中图分类号: P641 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)03-274-06

Discriminant Deduction of Decomposable Corrosion pH_s for Groundwater Acting on Concrete

LI Yun-feng, WAN Wei-feng, FU Xiao-gang, GUO Ting-ting, HE Jian-jun, ZHANG Xi-yu
(School of Environmental Sciences and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: There are two main limitations in current evaluation method of decomposable corrosion pH_s for groundwater acting on concrete, one is the decomposable corrosion pH_s of different water samples without lateral comparability, and the other is that it can not be quantitatively drawn in the division map of decomposable corrosion pH_s . A new discriminant sk_1 of decomposable corrosion pH_s is deduced with the calculation process, which can well solve the calculation task of decomposable corrosion pH_s for groundwater acting on concrete. The calculation result not only has lateral comparability, but also has the ability of drawing the superposition map of synthetical evaluation of three decomposable corrosion pH_s quantitatively. An example shows the shortage of current evaluation method, the discriminant and its feasibility of drawing the division map of decomposable corrosion quantitatively.

Key words: concrete; decomposable corrosion; corrosion index pH_s ; corrosion discriminant; division map

0 引言

工程建设用水水质评价是指地下水对组成建筑物的混凝土的侵蚀作用评价, 包括了分解性侵蚀、结晶性侵蚀、分解结晶复合性侵蚀3方面的评价^[1-3]。分解性侵蚀评价又包括 pH_s 分解性侵蚀、酸性侵蚀、碳酸性侵蚀的评价。数十年来, 工程建

设用水水质一直按文献中的方法和标准来判断和评价^[1], 这些评价方法和判断标准在中国的工程建设用水水质评价工作中发挥了极其重要的作用^[4], 在没有工程建设用水水质评价规范的情况下, 起到了准规范的作用, 一直被水文地质界沿用至今, 包括最新的国家级教材^[3]仍然保留文献^[1]的评价方法。

收稿日期: 2007-05-11

基金项目: 中国地质调查局项目(1212010535207)

作者简介: 李云峰(1945-), 男, 山东垦利人, 教授, 博士, 博士生导师, 从事水文地质教学与研究。E-mail: lyfphd@163.com

笔者分析了现行评价方法中存在的地下水对混凝土分解性侵蚀指标 pH_s 横向无可比性和难以定量绘制 pH_s 分解性侵蚀分区图两大缺陷,推出了新的“pH_s 分解性侵蚀判别式 sk₁”,对现行的分解性侵蚀评价方法进行了改进。这里只涉及 pH_s 分解性侵蚀的评价问题,对分解性侵蚀中的其他两项(酸性侵蚀、碳酸性侵蚀)的评价问题,未作更多讨论,仅用了其新的判别值计算结果。

1 分解性侵蚀评价中存在的问题

1.1 分解性侵蚀总指标 pH_s 现行评价方法

分解性侵蚀总指标 pH_s 评价属于3种分解性侵蚀评价的1种,截至目前为止,仍按文献中的方法和标准来判断和评价^[1-2](表1)。即

分解性侵蚀指数 pH_s 是分解性侵蚀总指标

$$pH_s = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{0.15c(\text{HCO}_3^-) - 0.025} - K_1 \quad (1)$$

式中: $c(\text{HCO}_3^-)$ 为水中 HCO_3^- 的量浓度 (mmol/L); K_1 为按表1查得的数值。

把地下水实测的 pH 记为代号 pH_{exp}, 则:

当计算值 $pH_s \leq pH_{exp}$ 时,地下水无 pH_s 分解性侵蚀; 当计算值 $pH_s > pH_{exp}$ 时,有分解性侵蚀。把分解性侵蚀总指标 pH_s 的计算式(1)代入,则为

$$pH_s = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{0.15c(\text{HCO}_3^-) - 0.025} - K_1 \leq pH_{exp}$$

无 pH_s 分解性侵蚀。

$$pH_s = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{0.15c(\text{HCO}_3^-) - 0.025} - K_1 > pH_{exp} \quad (2)$$

有 pH_s 分解性侵蚀。

为了叙述方便,把表1中的大块碎石类土含水介质 D-A 类水泥组合简称 DA 组合,大块碎石类

土含水介质 D-B 类水泥简称 DB 组合,砂类土含水介质 S-A 类水泥简称 SA 组合,砂类土含水介质 S-B 类水泥简称 SB 组合。

1.2 现行评价方法存在的缺陷

现行评价地下水 pH_s 分解性侵蚀作用的方法已应用多年,使用中存在着诸多不便,除式(1)中须不断地更换常数项 K_1 的取值,造成计算零乱、判断繁琐之外,还存在2点缺陷:

1.2.1 水样间分解性侵蚀指数 pH_s 横向无可比性

尽管把 pH_s 称作分解性侵蚀判断的总指标,但是,计算值 pH_s 不能构成一个“自主”的判断指标,它必须依赖同本水样实测的 pH_{exp} 值进行对比后才能做出判断,判断结果也仅仅是该水样是否具分解性侵蚀。因为做判断所必须依赖的各个水样 pH_{exp} 值也是变量,所以,作为判断指标的 pH_s 就失去了“自主”判断的功能,更不具备横向对比的功能,即便是对同一种混凝土组合(例如同为 DA 组合),也不能拿具有 pH_s 分解性侵蚀的甲水样的 pH_s 值与乙水样的 pH_s 值进行横向对比来判断乙水样是否具分解性侵蚀,所有水样的 pH_s 值横向均没有可对比性。

1.2.2 难以定量绘制 pH_s 分解性侵蚀分区图

因为分解性侵蚀指数 pH_s 值不能构成一个“自主”的判断指标, pH_s 值不能做水样间的横向对比,所以,计算值 pH_s 与本水样 pH_{exp} 值进行对比后做出的判断,仅仅是一个个水样点个体是否具有 pH_s 分解性侵蚀,然而,平面上这一个个具有 pH_s 分解性侵蚀的水样点个体以及一个个不具 pH_s 分解性侵蚀的水样点个体,又该如何正确地分成区、定量地确定分区界线的平面展布,却没有可依据的定量数据^[5]。

表1 水对混凝土的分解性侵蚀鉴定标准

Tab. 1 Identification Standard of Decomposable Corrosion for Water Acting on Concrete

侵蚀性指标	混凝土被大块碎石类土 含水介质所围(代号 D)		混凝土被砂类土含水 介质所围(代号 S)	
	A类水泥	B类水泥	A类水泥	B类水泥
$pH_s > pH_{exp}$ 时有 pH _s 侵蚀性	$K_1 = 0.5$	$K_1 = 0.3$	$K_1 = 1.3$	$K_1 = 1.0$
$pH_{exp} < K_3$ 时有酸性侵蚀	$K_3 = 6.2$	$K_3 = 6.4$	$K_3 = 5.2$	$K_3 = 5.5$
$[\text{CO}_2]_s < \text{游离}[\text{CO}_2]_s$ 时有碳酸性侵蚀	$K_2 = 20$	$K_2 = 15$	$K_2 = 80$	$K_2 = 60$
$pH_s = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{0.15c(\text{HCO}_3^-) - 0.025} - K_1$ $[\text{CO}_2]_s = a[\text{Ca}^{2+}] + b + K_2$				

注: A类水泥为硅酸盐水泥, B类水泥为火山灰质、含砂火山灰质、矿渣硅酸盐水泥; $c(\text{HCO}_3^-)$ / (mmol · L⁻¹), 游离 $\rho(\text{CO}_2)$ / (mg · L⁻¹); 系数 a, b 另有表查其值, 不在本文讨论范围, 此表据文献[1]略作改动

1.3 实例分析

某 100 km×100 km 的研究区内,采集潜水水样 16 个,水质分析结果见表 2。

用表 2 中的水质分析结果,把 16 个水样数据逐点代入式(1),分别计算出每个水样 DA、DB、SA、SB 组合的 pH_s 值。表 3 中,C、E、G、I 列分别是 DA、DB、SA、SB 组合的 pH_s 计算值,D、F、H、J 列分别是与 pH_{exp} 值对比后作出的是否具有 pH_s 分解性侵蚀的评价结果。把表 3 的计算结果数据分别标注在平面图上。图 1、2 分别为潜水对 DA 组合、SB 组合的 pH_s 分解侵蚀分布区(DB 组合、SA 组合从略),图中实心圆点表示该点具 pH_s 分解侵蚀,空心圆点表示该点不具 pH_s 分解侵蚀;圆点上

方标注该点的编号,圆点左侧标注该点 pH_{exp} 值,圆点右侧标注该点 DA 组合(图 2 为 SB 组合)的 pH_s 计算值。以图 1 为例来讨论上述归纳出的 2 个问题。

为了便于读图,把图 1 中实心圆各点圈成相同的区域,并用垂直的平行线条填充该区域;把空心圆各点圈到该区之外没有填充的空白区域(两区分界线的平面展布暂时还不能定量确定),再从分布图上逐一剖析前述的问题:

问题 1 水样间的分解性侵蚀指数 pH_s 值横向没有可对比性:如果按式(2)来寻找规律, pH_s 值越大者应当更有可能是具 pH_s 分解性侵蚀的点、越小者应当更有可能是具 pH_s 分解性侵蚀的点。图 1 中

表 2 研究区潜水水质分析结果

Tab.2 Analysis Result of Phreatic Water Quality in Study Area

$\rho_B/(mg \cdot L^{-1})$

点号	x/km	y/km	游离 CO ₂	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	pH	点号	x/km	y/km	游离 CO ₂	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	pH
1	10	10	4	86.17	21.91	60.04	328.17	8.5	9	60	60	118	71.16	12.78	4 960	243.87	5.1
2	20	30	4.5	46.32	10.92	30.41	232.06	8.1	10	80	60	5.0	54.55	10.95	35.64	223.4	8.2
3	40	30	4.6	64.45	9.10	56.96	216.79	7.9	11	50	50	95	40.28	7.28	28.0	207.63	6.0
4	60	30	81	44.31	21.85	42.48	216.79	6.1	12	10	99	80	43.9	54.0	13.5	180.0	6.1
5	80	30	115	79.55	43.70	93.16	287.02	5.2	13	20	80	90	87.0	65.0	5.31	186.0	6.6
6	99	10	6.0	55.39	14.57	37.65	250.38	8.2	14	40	80	105	98.0	1 100	5 100	420.0	5.2
7	20	60	7.0	65.46	17.30	42.48	302.29	7.9	15	70	80	83	114	3 600	7 700	450.0	6.1
8	40	60	5.0	39.68	10.03	30.93	196.06	8.2	16	99	99	120	102	6 100	7 940	460.0	4.9

表 3 研究区潜水分解性侵蚀指标 pH_s 计算值及评价结果

Tab.3 Calculation Results of Decomposable Corrosion Index pH_s of Phreatic Water and Its Evaluation Results in the Study Area

点号	pH_{exp}	pH_s								sk_1
		DA	$K_1=0.5$	DB	$K_1=0.3$	SA	$K_1=1.3$	SB	$K_1=1.0$	
1	8.5	6.38		6.58		5.58		5.88		-1.62
2	8.1	6.47		6.67		5.67		5.97		-1.13
3	7.9	6.49		6.69		5.69		5.99		-0.91
4	6.1	6.49	有	6.69	有	5.69		5.99		0.89
5	5.2	6.41	有	6.61	有	5.61	有	5.91	有	1.71
6	8.2	6.45		6.65		5.65		5.95		-1.25
7	7.9	6.40		6.60		5.60		5.90		-1.00
8	8.2	6.53		6.73		5.73		6.03		-1.17
9	5.1	6.46	有	6.66	有	5.66	有	5.96	有	1.86
10	8.2	6.48		6.68		5.68		5.98		-1.22
11	6.0	6.51	有	6.71	有	5.71		6.01	有	1.01
12	6.1	6.57	有	6.77	有	5.77		6.07		0.97
13	6.6	6.55		6.75	有	5.75		6.05		0.45
14	5.2	6.33	有	6.53	有	5.53	有	5.83	有	1.63
15	6.1	6.32	有	6.52	有	5.52		5.82		0.72
16	4.9	6.32	有	6.52	有	5.52	有	5.82	有	1.92
A 列	B 列	C 列	D 列	E 列	F 列	G 列	H 列	I 列	J 列	K 列

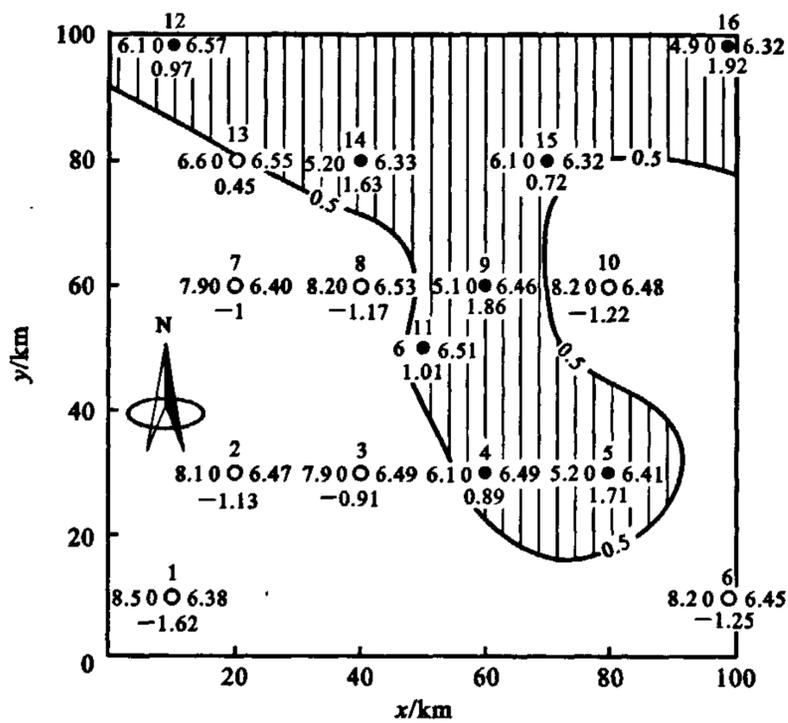


图1 研究区潜水对DA组合 pH_s 分解侵蚀分布区
Fig.1 Distribution Map of Decomposable Corrosion pH_s of Phreatic Water Acting on DA Combination

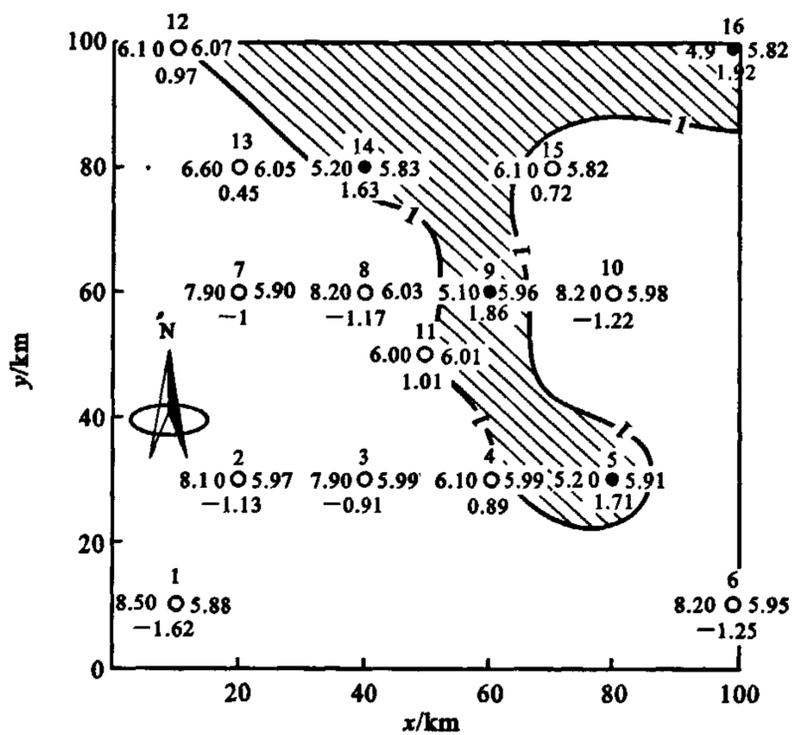


图2 研究区潜水对SB组合 pH_s 分解侵蚀分布区
Fig.2 Distribution Map of Decomposable Corrosion pH_s of Phreatic Water Acting on SB Combination

具 pH_s 分解性侵蚀的 4、5、9、11、14~16 点,其 pH_s 值均比不具 pH_s 分解性侵蚀的 13 点的 6.55 要小。反之,图 1 中不具 pH_s 分解性侵蚀的 1~3、6~8、10、13 点,其 pH_s 值又均比具 pH_s 分解性侵蚀的 15、16 点的 6.32 要大。可见,单纯借助 pH_s 值,不但横向没有可对比性,而且毫无规律可寻。

问题 2 难以定量绘制侵蚀性分区图:因为分解性侵蚀指数 pH_s 值不能作水样间的横向对比,毫无规律可寻,那么,就无法借助 pH_s 值来定量确定具 pH_s 分解性侵蚀区和不具 pH_s 分解性侵蚀区分

界线的平面展布。在把 16 个水样点的“是”点、非“是”点分别用实心圆、空心圆标注之后,只能用手工大致勾画出两区分界线。所谓大致勾画,是指两区分界线在实心圆点、空心圆点之间穿过时,无法确定分界线应当靠近实心圆点还是空心圆点,无论是靠近、远离,还是居中,均无依据。这样勾画出的 pH_s 分解性侵蚀分布区,其形状可伸、可缩,其面积可大、可小,不但不同的编图人勾画出的分布区会千奇百态,就是同一个编图人先后多次也会勾画出多种形态来,这就丧失了科学性。如何解决上述问题是笔者要研究的核心问题。

2 pH_s 分解性侵蚀判别式

分析侵蚀指数 pH_s 值横向没有可对比性,难以定量绘制侵蚀性分区图问题,其实质是鉴定指标不统一,只要鉴定指标统一了,问题就会迎刃而解。

为了解决鉴定指标不统一,笔者创建了 pH_s 分解性侵蚀判别式,是专门为弥补“分解性侵蚀指数” pH_s 的缺陷而提出的。

2.1 判别式的提出

分析计算式(2),即

$$pH_s = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{0.15c(\text{HCO}_3^-) - 0.025} - K_1 > pH_{exp}$$

有 pH_s 分解性侵蚀。

导致分解性侵蚀指数 pH_s 不具“自主”判断能力的根源是式(2)左侧存在自变量 $c(\text{HCO}_3^-)$,右侧存在自变量 pH_{exp} ,且这些自变量均是水质分析数据,是随每个水样在变化。解决办法是把所有的自变量移至公式同一侧,公式的另一侧只保留因变量,把这个因变量作为判别值使用,即为

$$\frac{c(\text{HCO}_3^-)}{0.15c(\text{HCO}_3^-) - 0.025} - pH_{exp} > K_1$$

有 pH_s 分解性侵蚀。

将该不等式的左端用代号 sk_1 代替,即令

$$sk_1 = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{0.15c(\text{HCO}_3^-) - 0.025} - pH_{exp} \quad (3)$$

则式(2)最终被整理成为

$$sk_1 = \frac{c(\text{HCO}_3^-)}{0.15c(\text{HCO}_3^-) - 0.025} - pH_{exp} > K_1$$

有 pH_s 分解性侵蚀。

简明表达式为

$$sk_1 > K_1 (K_1 = 0.5, 0.3, 1.3, 1.0) \quad (4)$$

有 pH_s 分解性侵蚀

把式(4)称作 pH_s 分解性侵蚀判别式。把式

(3)的计算值 sk_1 称作 pH_c 分解性侵蚀判别值。可以看出,该判别式的构成是把地下水样检测数据作为自变量放在判别式的左侧参加计算,用代号 sk_1 代替其计算结果,把计算出的判别值 sk_1 与 DA、DB、SA、SB 组合取值不同的 4 个常数项 K_1 进行比较,来鉴定对 DA、DB、SA、SB 组合 4 种对象是否具有 pH_c 分解性侵蚀。

2.2 判别式的使用方法

把计算出的判别值 sk_1 用判别式(4)鉴定 pH_c 分解性侵蚀作用的使用方法归纳如下:

(1)当 $sk_1 > K_1$ ($K_1 = 0.5$)时,DA 组合具有 pH_c 分解性侵蚀作用。

(2)当 $sk_1 > K_1$ ($K_1 = 0.3$)时,DB 组合具有 pH_c 分解性侵蚀作用。

(3)当 $sk_1 > K_1$ ($K_1 = 1.3$)时,SA 组合具有 pH_c 分解性侵蚀作用。

(4)当 $sk_1 > K_1$ ($K_1 = 1.0$)时,SB 组合具有 pH_c 分解性侵蚀作用。

用计算出的判别值 sk_1 可以实现分别在不同的图上用 sk_1 等值线绘制出 $sk_1 > 0.5$ 、 0.3 、 1.3 、 1.0 的 DA、DB、SA、SB 组合的 pH_c 分解性侵蚀分布图,也可以实现在同一张图上用 sk_1 等值线绘制出 $sk_1 > 0.5$ 、 0.3 、 1.3 、 1.0 的 4 个 pH_c 分解性侵蚀分布区。

3 实例应用结果

笔者编制的判别式计算程序(从略)是通用的,该程序不但完成了新定义的 pH_c 分解性侵蚀判别式 sk_1 的计算任务,而且还包括碳酸性分解侵蚀判别式 sk_2 、酸性分解侵蚀判别式 sk_3 的全部计算任务,尤其是判别式 sk_2 计算中把过去靠人工查表用内插方法确定碳酸侵蚀指标 $[CO_2]$ 的计算实现了计算机化。程序的计算结果分解性侵蚀判别值含有 3 种分解性侵蚀的判别值,不但具备了水样间的每种分解性侵蚀横向对比的功能,而且还具备了定量绘制每种分解性侵蚀分区图和定量绘制 3 种分解性侵蚀综合评价迭加图的功能。

实例中的水质分析数据见表 2。按照判别式计算程序的要求,把表 2 各项原始数据录入数据文件,然后运行判别式计算程序, $sk_1.txt$ 是得到的输出结果的多个文件之一,为便于阅读,把 $sk_1.txt$ 另外制表(表 3),表 3 中的第 K 列就是 pH_c 分解性侵蚀判别值 sk_1 。

3.1 绘制每种组合的 pH_c 分解性侵蚀分布图

有了 $sk_1.txt$ 文件,即可非常方便地绘制 sk_1 等值线图,图 1~2(以及从略的另外 2 张图)实际上是笔者直接借用 $sk_1.txt$ 文件绘制的。解决了 2 张图上的“两区分界线的平面展布如何定量确定”的问题。

3.2 绘制 4 种组合迭加的 pH_c 分解性侵蚀分布图

用 $sk_1.txt$ 文件把 $sk_1 > 0.5$ 、 0.3 、 1.3 、 1.0 的 4 个 pH_c 分解性侵蚀分布区在同一张图上用 sk_1 等值线绘制出(图 3)。图 3 中实心圆点表示水样点的位置,圆点上方标注该点的编号,圆点下方标注该点水样的 pH_c 分解性侵蚀判别值 sk_1 数据。

图 3 相当于把图 1、2(以及从略的另外 2 张图)迭加在了一张图上,图 3 仍沿用了图 1、2 中所用的 4 种填充符号,分别代表 DA、DB、SA、SB 组合的 pH_c 分解性侵蚀分布范围。按照 pH_c 分解性侵蚀判别式的定义, $sk_1 > 0.3$ 时 DB 组合具 pH_c 分解性侵蚀(同理, $sk_1 > 0.5$ 时 DA 组合具 pH_c 分解性侵蚀、 $sk_1 > 1.0$ 时 SB 组合具 pH_c 分解性侵蚀、 $sk_1 > 1.3$ 时 SA 组合具 pH_c 分解性侵蚀),这里应注意区别 $sk_1 > 0.3$ 与 $0.5 > sk_1 > 0.3$ 的不同, $sk_1 > 0.3$ 在分布图上的效果,是出现了 DB 组合的横线符号延伸到 DA 组合的竖线符号之下的双重符号重叠区域,这种符号重叠区域则代表该区域既有 DA 组合的 pH_c 分解性侵蚀,又有 DB 组合的 pH_c 分解性侵

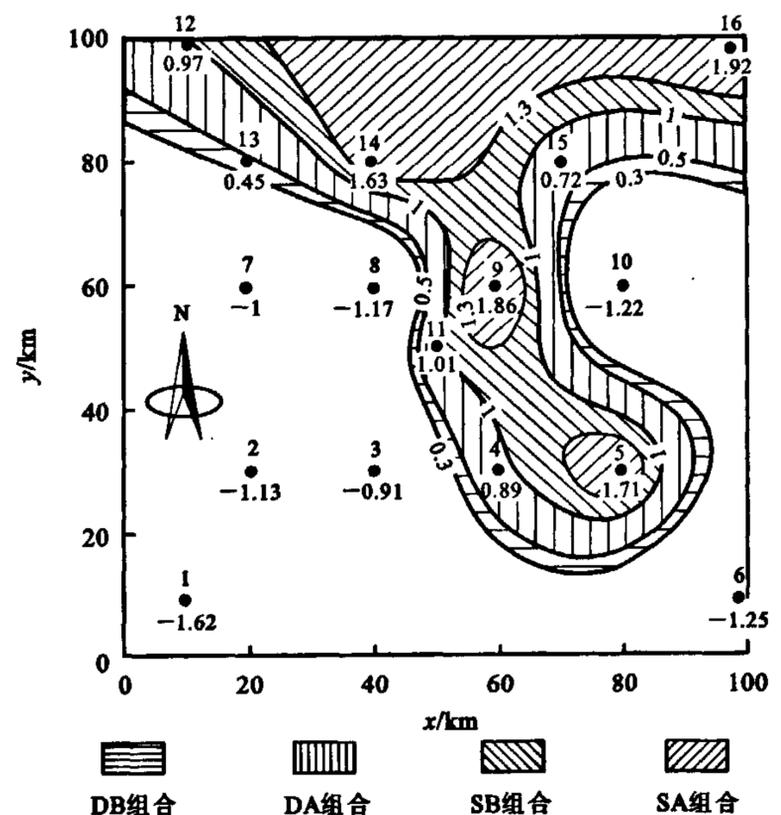


图 3 研究区潜水 pH_c 分解性侵蚀分区
Fig. 3 Distribution Map of Decomposable Corrosion pH_c of Phreatic Water

蚀。依次类推,4 种符号全部叠加在一起的区域,则代表 4 种组合均有 pH_s 分解性侵蚀的区域。

3.3 绘制 3 种分解性侵蚀综合评价迭加图

除了可以象图 3 那样用 sk_1 、 sk_2 、 sk_3 等值线图幅绘制 pH_s 侵蚀、碳酸性侵蚀、酸性侵蚀分区图外,还可以很方便地实现用 $sk_1 \sim sk_3$ 3 种判别值分别针对 DA、DB、SA、SB 4 种组合的迭加同图绘制 3

种分解性侵蚀的综合迭加图。按照分解性侵蚀的判断原则,其分解性侵蚀中只要其中任何一种侵蚀性存在,就判断为具有分解性侵蚀,因此,在 3 种分解性侵蚀的综合迭加图上,按照迭加取大的原则,圈定出分解性侵蚀的总分布区,即在综合迭加图上,其分解性侵蚀中只要其中一种在某区段存在,则认为该区段具分解性侵蚀。

3 种分解性侵蚀的综合迭加图,只能按 DA、DB、SA、SB 4 种组合分成 4 幅图来单独绘制。图 4 是实例绘制出的 4 幅图之一,图中,实心圆点表示该点位置,圆点上方标注的是该点的编号,圆点左侧标注该点的 sk_1 值,下方标注 sk_2 值,右侧标注 sk_3 值。DA 组合的 pH_s 分解侵蚀区($sk_1 > 0.5$)用水平的平行线条填充,碳酸性侵蚀分布区($sk_2 > 20$)用垂直的平行线条填充,酸性侵蚀分布区($sk_3 > 6.2$)用右斜的平行线条符号填充。

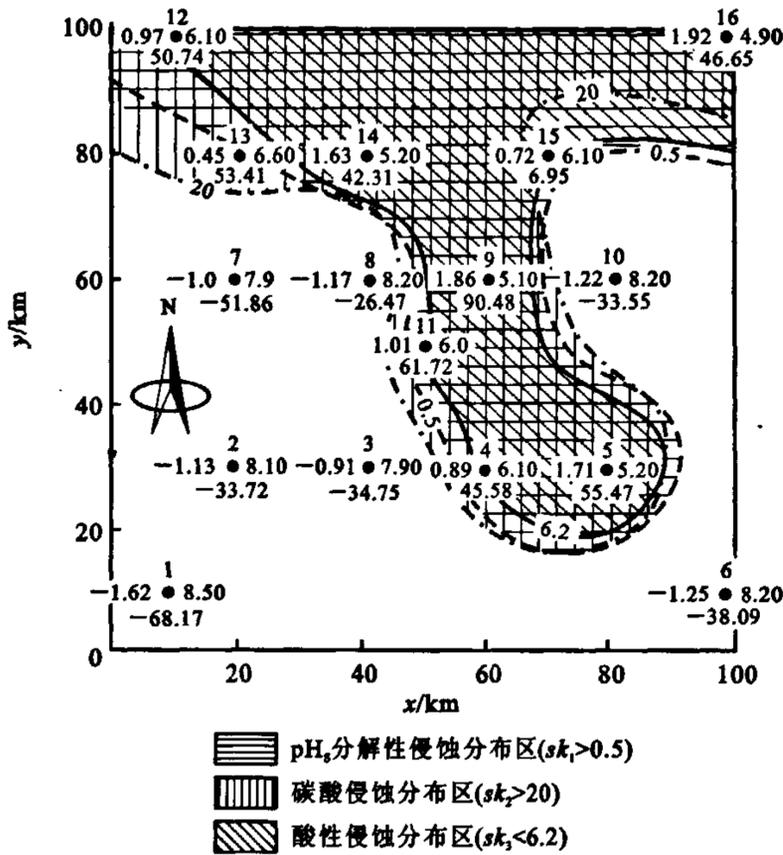


图 4 研究区潜水 DA 组合 3 种分解性侵蚀综合迭加
Fig. 4 Superposition Map of Synthetical Decomposable Corrosion of Phreatic Water Acting on Three DA Combination

参考文献:

[1] 河北省地质局水文地质四大队. 水文地质手册[M]. 北京:地质出版社,1978.
[2] 房佩贤,卫中鼎,廖资生. 专门水文地质学[M]. 北京:地质出版社,1987.
[3] 曹剑峰,迟宝明,王文科,等. 专门水文地质学[M]. 北京:科学出版社,2006.
[4] 刘秀花. 模糊信息分配法及其在水质评价中的应用[J]. 西安工程学院学报,2002,24(1):29-32.
[5] 湛会芹,李 萍,程祖锋. 邯郸市地下水对混凝土的腐蚀性评价研究[J]. 河北建筑科技学院学报,2004,21(1):19-22.

(上接第 255 页)

参考文献:

[1] 于风池,魏刚锋,孙继东,等. 青海滩间山金矿成矿模式[J]. 西安工程学院学报,1998,20(1):29-32.
[2] 张德全,党兴彦,余宏全,等. 柴北缘—东昆仑地区造山型金矿床的 Ar-Ar 测年及其地质意义[J]. 矿床地质,2005,24(2):87-98.

[3] 崔艳合,张德全,李大新,等. 青海滩间山金矿床地质地球化学及成因机制[J]. 矿床地质,2000,19(3):211-221.
[4] 刘瑛俊. 元素地球化学[M]. 北京:科学技术出版社,1988.
[5] 涂光焱. 地球化学[M]. 上海:科学技术出版社,1984.
[6] 李锁成,李永军,李金宝,等. 天水平道花岗岩体的地球化学特征及构造环境[J]. 地球科学与环境学报,2005,27(4):33-37.
[7] Tullis J, Yonel R A. Experimental Deformation of Westerly Granite [J]. J Geophys Res, 1977, 82: 44-53.