

T°"1/4çφ, 1/23/4" (¿ÀV k@6

~¾φ1 " 1,2 * 7®]¹,² #1
(1.3*+,/, -)0+1,g 550003; 2.3*+,C,-P()0ìiÁ,g 550003)

! " fiEñXYªUDw5£)0Xo,*TEE- ce XB_B 9 "" 8 (gd
: gPpCISM\$)OXY%&,*eXB_B9""i,ÄM pH{4ç 2,45 ~2,95 í®É \$
~7.76,¼ltê2P[\]^_fi 44 63 g(d- m²) ,9 ""ig,ªP] ^_\ `a* 98,44% 4 93,75% ¾k,¥,
,14rIDP[\]^_`afi 70,87%,21,90%,20,78%4 27,62%\$)OXYTUQW,¾7lágfi 9 T\$P
eXB_B9""{euí@MPp4øÓ\$ {,9 ""ic 3 >hü±²) wª 7 lá|cg?
q2,gPÒXYgùú>ã5]^\$
#\$% eXB_B9"" gCISM)OXY
&'()* X703 \$,- ./ A \$01* 1673-9108(2011)04-0789-06

Behandlung von saurem
Grubenwasser in einem aeroben
Reaktor mit vertikaler Stömung

Yang Shaozhang¹ Tu Pan^{1,2} Zhang Ruixue^{1,2} Dong Hui¹
(1 College of Resources and Environment Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, China; 2 Engineering and
Technology Center of Mining Environment, Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Zusammenfassung Es wurde ein passives
Behandlungssystem mit einem aeroben vertikalen Durchflussreaktor zur
Behandlung von saurem Mienenabwasser (AMD) aus einem stillgelegten Kohlefeld mit
Karbonatpartikeln in Jiuan, Guizhou konstruiert. Technische Experimente ergaben,
dass der pH-Wert nach der Behandlung von 2,45 ~2,95 auf 5,91 ~7,76
anstieg, die Wasserqualität um 44,63 g(d·m⁻²) durch die durchgeführten
Behandlungen verbessert wurde und die durchschnittliche Konzentration von Al, Cu,
Zn, Mn, Ni und SO₄²⁻ 98,44 %, 93,75 %, 70,87 % und 21,90 % betrugen,
Die Ergebnisse zeigen, dass die Alkalinität und der pH-Wert durch die
Prozesse der Kalksteinauflösung erhöht wurden, dass zweiwertiges Mangan und andere
metallische Elemente durch die autotrophierende Ausfällung von Kalkstein
sowie durch die Ko-Fällung von Eisenoxiden und Alminhydroxiden

Schlüsselwörter aerobe vertikale Durchflussreaktor, saure
Minendrainage (AMD); technische Experimente

3Mg|\$m,Ë▲MCf P¹\ g C I S M (acid mine drainage AMD) \$mI
@ã\$ Í3giφr'®,[\ φr'\ 9 f? AMD|eIS3, ±²φ'®,ab-φ¶¶-,T+ @I h
®£ 3 %,hi¾×2Crff^[1-2]\$ g C* ç 4 q Ä R E * 'P) \$ÑWª *e Teª UP
Oi,ñ*'φr Cg Pg,ÄC? £Ýµi, 5 ¿ k,çú ó-cü5 " e XB_B 9 "" * ffi
ñhîlýpPq,-úrÛF,*ÝµXY, 8 (g C I S M P X Y \$, B ã È E 2 w
M>,ÔQMP Ó À 4 : >, ¾ > < r g P 8 (u U^[3-5]\$
P 5
-,ñÔ "8£3‰ Ô,- P× 2 C(F e S 2) 'q-
pmPXY,Mdµ9,wªrlá>±²φ' v®P

fiĐw Ô% XY^a U 5 É) 0 Xo,i`d
Ö)0X;q0iñ ÉP: ×Ñ,N* XY
&P5¿kÄRT) 0 5,¾# ¾) H
ÿxP}kûRJK,¿É2wP8(uU,ìfi
(èS)05Í-"PÌ4KgJ;\$

2A45:3M(i\$. Ke(. [2009] 19 ^a) .
3M.x](.O SYÝ[2009]3059) ;3 * +
rî?5±(¿()):2010053)
67B9:2010 -12 -07 ; ;B9:2011 -01 -06
<=>? : .+(1985 ~) ,r,ÉÆ:C,
-itPqOf(/\$
E-Mailshaozhang1314 @126.com
* ;zpK,E-mail:pwu@gzu.edu.cn

1 @AJCD

%4 8 %fiy, ¢£úf/KKfi(), ¼W

ÄM_ '*HIFfi 8 º ~15,0 m³/d\$

1 OP\2²]Ü

2 OP?H

9"Eª£ 2009 \$ 10 %, Í£gb 5

9"iR59Û 4 4 0 wp* < W Ég

ád > / (N: 26 °30 '25 54 ' ; E: 106 °35 ' 7ág(\$ X ¯ ¯ (XRD) ep ' ¯T

25 93 ' ; H: 1 272 m) , Ô8 Ñ d M ô M Ð³

ktors mit Schikanen

ák

@\$ ¢£dËb 5 á P / g* , g┐

¢£ 2009 \$ 11 %J 2010 \$ 4 %fiMyL ,

`\$m,>g`Ê 2 , * " ½ * ¢ ú" à4Ð³" ä-

:> g ó M _ 'v > , XY ¯ B ¯ M - f

ô" ë¢ Xg , * '(è +> P gÎP , : g

2010 \$ 5 %, ¼ Wab ÄM _ 'fi 5 m³/d\$ 7

/ r PI SM Å Ø APÆTÁÂ,-

:t2 , ('q:£ª4¥!

g,T O > g I

SMPM\$,M'jk, ¯ 'd

>/-8K4¢4*þP:>g

/rPISMfi 8 (I 5\$ 2009 \$ 8 %

DgÔ\$, -45 Ôjk, 9 ¯, \$ * f Â

TP-8ÔkÄR)Eÿ\$

9" 2 WBÁEÿ *- M[t k, ð Dm, Ê 5

m, ® 1 ~2 m"°u©-fi 24 cm, Ò 1 R&\$

gCISM¢fi 100 mmP RC

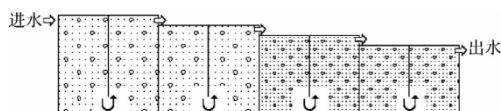
:> gª DP HL ¯ir , 5 " ä IÄ W9 ¯ P

M Ä R , ¼ W ÿ x Ä M _ ¶5 m³/d, ÿxó — fi

15 h\$ g C ■ SMÄ 8(9"g, I _ ë 0 / 9

¯i P 8(T§9Ý, 'q-pm9g_ó(2

) \$



1 eXB_B9 ¯t& ¯

Abb.1 Schematischer Querschnitt eines

aeroben

Vertikalflussreaktor

s mit Schikanen



2 eXB_B9 ¯LÔ

Abb.2 0Übersichtsdiagramm

des aeroben

Vertikalflussrea

ÿ§(6 27 %) , § (1 26 %) 4 ® Q § (0 5 %) \$

X⁻i⁻o(XRF) p' f, Y+^a`fi G0, Mg0,
^{Si02} 4 00, h í` φ`` a fi 49,32%, 2 64%, 3 32%
%4 40 79%\$

ß *+^_V(ICD
®-7 1 °- (^ T) I 9 ``i PÄ

M46MÄRMZ4 °M Z' 0 45 µm
P°¾4>

Öq>É 100

mL±4ZÖi,U(
\$½Pll Y(ñ pH<2) g°æ

XY &, Â 4 ha Æei ÄR Ðq\$
},cdX,pH{,pí_µ;FJK45

HORIBA °0pW4^hp\$ ±²\$:.45p

²Oµ\$:. Ô: ú⁻ o î(ICP-AES) ÄR
h p,

^{S02}- 4 5 Ä' Ê (GB 11899 -89) Ä R h 6 4
` f\$

2 bcJde

1 pH_ECiLF)
÷ pH{Ëg C I SMP Ò& Ò Ä, I

±²* g C I SMi Pq * w p e ö /
O, C, l£±²P] ^ë±í@gCIS MP pH{\$ 3 4

Q l i 4 ¾ y ó, 9 `` §pq \ { ñ Ä M
pH ¿ ø 2 45 ~2 95 Í ® É

5 91 ~7 76 ,%ãW 7 lág{ eu Ôlg C
I S

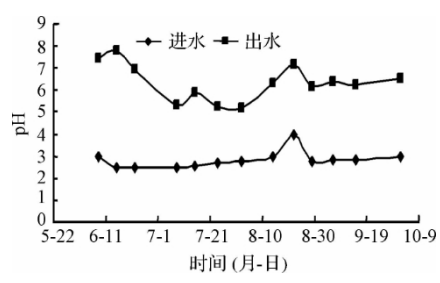
MÄRi4,ñ pH¿ È ¾¥®\$ pH¿ ðl X
Y&ó4âª,4{ Ó (Ë XY & ièél

SM^a`@ ¼,yþ, ì T 7 : 0 () (

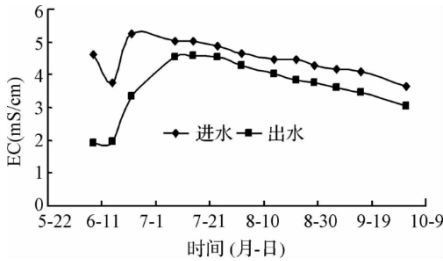
Ò} ,M§

``ffip) P/0\$

3 8(pqi pH²-PFY
Ab3 Änderung des pH-Wertes mit der Zeit im passiven
Blutkreislauf



2ö7Iágcd,9"ipÍ®,raP
Fe(OH) ₃ ×gððð:,IMicd W P
ùú4pq5U 3,ñ È ó MPí_ÿ . } î X
4) \$ £ 7 I á g / g C I S M Ø A P
57IágQt,-w^a-Âø2ØXYg
XYgT©,ñMi P ^{H+} 3| Y 7 I ágz{
Qt P_È,iñi4u_}÷,®³ |__ / i
4u_Îµ¿É8([³\$



4 8(pqi EC²-PFY
Ab Veränderung der
Leitfähigkeit mit der
Zeit im passiven
Blindsystem

2 `AÿaÜ

9"iP7Iágz{ fi Éd \$ (a⁻ CaCO₃),
qlgCISMPi45 "Í

®MP pH {, p (HCO₃⁻ +OH⁻) 4 ^{CO₃} <

,15q0Ø9B(1.)(2.)(3.)^[6] R&\$
CaCO (\$ +2 ^{H⁺→Ca²⁺ + H^{CO₃}})

(1)

CaCO (\$ +H^{CO₃→Ca²⁺ + 2 HCO₃})

(2)

CaCO (\$ +H^{0→Ca²⁺ +HCO₃+OH⁻})

(3)

Pj:[H^{CO₃}] = [CO (aq)] + [HCO₃]

7Iágcd,MpÈÉÍ®,±²\$.: *

eXB_B9 "ièó 4 - pm FY,9

"Ä,óM±²\$:PFYjkØ 5 R&\$

5 (a) (d) > Q 1 i4¾ÿó,9"i AlCu

P] ^ _ ` a ® £ 98 44 % 4 93 75 %, % Ë (fi
g \$: 4 α \$: 7 pH { P / Ov *, ® pH > 4,5
, ` w^a Ø XYg ? 7 I á | cg * 8 (9
"i^[7-8] \$ 5 (c) (e) i Fe, Mn 2 óð¼ P]
^ _ ` a fi 99 9 % 4 95 9 %, 2 ò , K % y P
É ", ÄMM'ð *, h] ^ _ . }, ` a fi 25 9
% 4 2 3 %, % Ë (fi ÄM _ ' q *, M * 9
"i P

ó -, ÄM Ý ei ` / 8 (T § 9 Ý , - É

tQ 1 i4ÿó, ÄMcdX ÷, 2 XY P _

, 19 "8 (g, MW % î £ % ò , - , % ò

0, - . 2 Î l ý þ , Ø : * XY i] ^ \$ Q 1

i4Èó¼ Í t ê 24¼ Í ê 2 P [\] ^ _

` a fi 44,63 g / d - m²) 4 68,66 g / d - m³) \$

Mi ^{B⁺P}] ^ È w^a 2 | 5 Y O g (Ø Fe (OH) , a -

FeO0H4 yFeO0H⁹¹) 4 - t Cg (Ø

M2C, i ¶ ¶ - \$¾ > m2C^[10]) \$ ^{B, Fe2 +} a *

pH { fi 3 4 8 w^a [11] , l È , h

] ^ , - v ® , * pH { v ÷ P , - . |¾4

* XY , ® pH { v ® ^{Mn2} + e { * ò XY r^a Mn3 + [12

1 , ® pH > 9 5 ¾ g , ^{Mn2} + e µ r^a Ø X

Yg ? È * XY a ^{Mn4} + ¾ g * ^] ^[13] \$

£ 2 , ã q P C I S M pi

] ^ , e ø ò e R] ^ ^[14] , ® 2 P < .

} É 2 ÷ , e { w^a ý þ PXYg ^[15] , 9 " -

i P [\] ^ _ £ e 21 90 % , 4 { È ø £ 2 , g

P Ø XYg Ih / r P ùú 5 , ã 5 > 2

Ø XYg P M d / g Ä R YXY5 l q ó * 9

"i , h Y X Y 5 q 0 Ø 9 B (4) ^[16] ,

(5) (6 R & \$

Fe (OH) ₃ ^{→ Fe3 + + 3 OH⁻} (4)

^{B⁺} + H O ₂ → Fe (OH) ₂ + 2 H⁺ (5)

2 Fe (OH) ⁺ + 3 ^{Mn2+} + 2 H O ₂ → Mn O ₄ +

2 Fe (OH) ⁺ + 2 H⁺ (6)

Q 1 2010 b 6 - 10 cOPVÊÇGÖ_ILdTUVAYWÞßà

Tabelle 1: ~~Arithmetische Mittelwerte~~ der physikalisch-chemischen Parameter
und Gesamtelementkonzentrationen im Zu- und Abfluss des aeroben Reaktors mit
vertikaler Strömung von Juni bis Oktober 2010

pH-Wert	EC (mS/cm)	Eh (V)	mV)	DO (mg/L)	SO ₂ - (mg/L)	Al (mg/L)	Fe ³⁺ (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Ni (mg/L)
---------	---------------	-----------	-----	--------------	-----------------------------	--------------	----------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

!#	4	Ca	Mg	.÷µ:eXB_B9"8(gCISM											791
		(mgL)	(mg/L)												
ÄM	2_82	4_48	369_00	0_58	3_90	8_94	58_51	55_25	778_02	10_87	0_16	1_03	1_54	416_21	249_21
óM	6_35	3_60	-105_50	0_38	2_82	9_27	0_91	39_34	510_25	8_49	0_01	0_30	1_22	534_55	211_09

.T*T"-P, -i[u%ôl3e- pP

YXY5,ÔXY1½û^[18]\$ e\$Î

IXY & ¹²+, Mn] ^ _ P 99 % 4 50 %
- i

,^[4],%oâW*e@< Fe,Mn ãqPgCIS
M8(q0i,8(pqë±È; \2Peu]^,
e{ñeRÈ\$

5 (b), (P>Q 1 i4¾Èó,*pq ûRP 2 ô
ô ¼, Ni, Zn P] ^ _ `a fi 52,7 %, 96,5
%, 8 % ø ô h] ^ _ î £ ý p, `a fi
18,6 % 4 83,0 %, [\] ^ _ `a fi
20 78 % 4

70,87 %\$ ¥* pH≤6,¾@1/\$. ^{Zn2}+w Bq

*,@ pH{fi 7,øôe<'P Zn (OH) +r^a,

pH* 8~10,¾ Zn (OH) ₂ ä(),i@ pH>11
,4r^a Zn (OH) ⁻ / Zn (OH) ²⁻ P 4 0 g^[19]\$

i* 9 - - i, pH{ ØÈ 2 @P, -
.,¥ { ÈÈ

] ^, %o4{Èø£*7Iág8(P q i, @g
C

ISM pH{Í@,7 Iágp¥@,¥

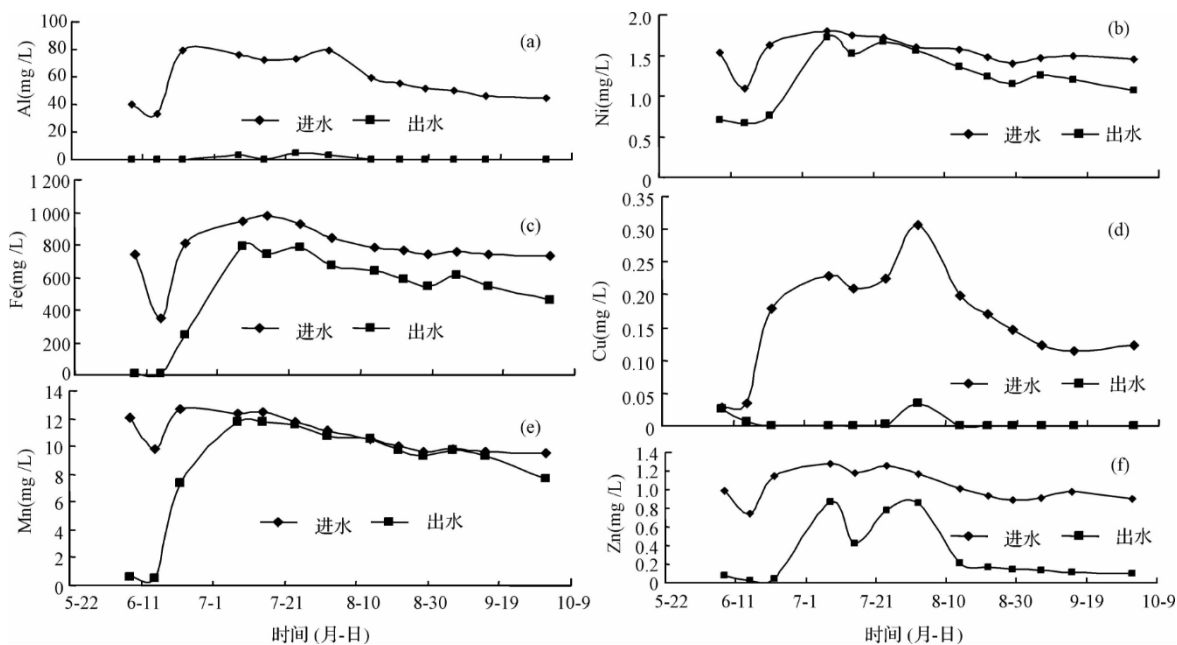
¾7I¥ Pw B¾>* hü± ² ÒXYg ù
ú]

^\$ î1*iSvýp,@ pH<6 0 \$ Øw^a, £ e @

pH>8 0 e ä5,r^a N(OH) ^[20]\$ (Ä 9

- i 1 ø'PÈÌÈ*hü±²ÒXYgùúw^aã

i*qó\$



5 8 (pqig, 1, 2, □, ¥ 5 Î%PÄóMFYjk

Abz KuntiveKuremAlmim, Nidel Eisen, Kupfer, Manganud

zinabbauinund abflussspassivkläranlagensystems während fünf
monaten

Zk,eX B _B 9 ``{ eu 8 (g C ñ5°\$

ISM,ñ±²\$: ¾g Pw Bê* 93 e\$%aÜ

h8(u U 2 w,Í* 'Pê¹Gµ k gCISMirIDËPg\$: ^[22] 7Iág*
Û7Iágz{Bñ 9 - PÛt} ÷,î 8 i 4 AMDq 0 i,-t ± ² \$: ¾±

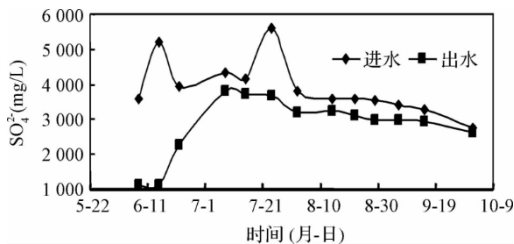
({1 - }\$ T*û5ái*fñ8(pq8(v
÷2,ø'PgCISM,hñ 5 °ð¿ 5~

10 \$ ^[21],I£ 8 (@ 2, < P g C I S M,hñ5°µ=\$

≥ CPwB,@ ^{S02}>2 000 mg/L,è µ e \$
"(CaSO ⁻² H 0) /r^I 23 1
,%o3E7Iág8(g

ÆÑWÄI8()H

A2(Yÿx,ü54eÄ,óMMÍ®äÄR9Ó) QcISMpqirID{È¾]^PÉB\$! 5
 Ç4ÄG,Í®9`P8(È{,øø9T\$P Ò 6 R&,pqûR2#,rID]^_¿É
 78 %,‰.Ëø£7Iág*8(gCISM,7
 Iágz{òcd,7 Iágcdó P ø \$:/



6 *8(pqirID 5 İ%P] ^jk
Ab KumulativeKredStärkungsdqwie
Behandlungssystem während fünf
Monaten

rlD^{TO}fi< c P r 1¢, i¾Ígà
PwBqó*8 (pqi\$ ²ö ÄM _ 'ð*,
M*8()HiPó — =, r I D [\] ^
_ . } fi 27 ½2 %, . T%o 3 / 8 (pqi 7
lá gPcd_eb, ®* 'P±² g%& ? k
Û7lágz{ , Mi ^{H+} ³| Y z{ Qt Ä
Ri4P_Ë,µ/0¢\$-Pcó,Äiíí
rID] ^_- § (ÄøðM*8(pq iPó-
,B%>ÄRÁG,R "pqirI
DP8({1\$

3 beJfg

¾7lágzfi9T\$PeXB_B9
" {eu P i 4 g C I S M, ñ Ä M
pH { ¢
2,45 ~2,95 Í®É 5,91 ~7,76 ,Í®MPp4
øÓ\$ { , I Al, Cu, Zn Ä R e u P] ^, I
Fe, Mn, Ni>r I D 3 { ½ `]
^\$ Mi 24 g
P] ^Ëwª Fe(OH) ³ ,M 2 C ,i¶¶¶-
§

¾>m2C 4 A10H) ³ ,% e r l ¢ / r ,
□

xË qwªÒXYg ? 7 láì È¾Ä ^,
c 3

>hü±²) P] ^Ë 2,g ÒXYg I
h/ rPùú5>ã5\$

9 "i ó 4 * 'm Õ à 4 Ígà èt
G,

c±²PÄ,óM<PFY4¾ÿó, c±²P
]^_BÝe¼* P F Y, á W 8 (pqi 7
lá gz { *tGk Û, ì% G'2 *, ñ Ût}
÷, ífi4u_ . }\$ fi øð 8 (pq Pñ
5°, Ä]^7lágz{ Qt P èt G, ¾ð

ücJKÃ> HI,(% 'Ä(P
(4 ` ³,%o3fi. — Ê P Í ó
EÐ®PÀ 4,Ò:

(1) I£®<P 2,{ p * 9 "ÄM d
q2P3Ym ¢ ? qeuü5Ô) Í®cdX"
eudÕ2P]^;

(2) {p qy UÛ Sr ? ¶ u ½ û ÄR
YXY]^, * 2,eu] ^P 5 ÿ k, d
Õhü±²\$.P]^;

(3) 9 "i ó 49 Û * k Û 49ª
"×Ñ,Ò¼ÄR (Yÿ x, Òÿ 9 Ó Ç ÿ !,
Ê
ÿÁGµ;

(4) *'Pêt G,Ò¼ X 4 c ü 5,F
fiV, ìØ/ rct\$

T r \$,

[1] İ½}, I@ &¼,µ jgirP`Ê ¶ u .
glY,2005,28(3) :14-18

[2] Gª,Vó,ÿúE,µ.3MBA,ÄÝCá gi 4
rPqîP¶S.ÄY++ =,2009,37(1) \$

[3] GÊ±,L` ,.¢,µ. 3 g C I S M" * ffi 8 ("
ìP?ÉÊCD.Ôá/-,2010,38(2) :250-254

[4] ,S,GÊ±,L` ,µ-7lágz 8 (g C I
SMP 6Y-M8(İ,2010,36(8) :45-48

[5] .¢,L` ,s-7lágzëgieK) è Ä 4
³ | { I P ., — . + + =, 2010, 30(7) :
1395- 1400

[6] HmæL N., Pakus D L, TM L Critical

U 9

T\$Peu5tê 4 Ût\$ ® pHÍ ® 0
ØË2W%, %o'ÄÐ|9\$,¾|èP
tGcdìó4ct\$

¾7lágzfi9T\$PeXB_B9
"8(gCISM,)H°8*2ðûRð¼,h

precipitati- on -In: In: E.A. (Ed)

_Chemical Modeling in Aqueous Systems-

Speciation, Sorption, Sily and Kinet-

is. Am. Chem. Soc. Symp. Series 93, 1979 537-

573

[7] Strosnider T.H., Nairn

R. T. Wirksame passive Behandlung

von hochgradig saurem Grubenwasser und rohem

kommunalem Abwasser

in Rost-Böden

Verwendung von

einfachen Mikrobakterien und

Kalk. Journal of Geochemical Exploration, 2010,

105(1-2) : 34-42

[8] G W Ä, ÷ Ä i. M S 3. I 3 * + 6 B

C, 1995.

256-258

[9] Skandam Tebb JA. Schätzung

der Lebensdauer

of limestone drains in treating acid

mined drainage containing high

concentrations of iron. Applied Geochemistry, 2007, 22(

11) : 2344-2361

[10] Gadi CA, Trahan

M.K. Limestone drains to

in-

crease pH und entfernte gelöste Metalle aus sauren

Minen

- Angewandte Geologie 1999, 14(5) : 581-606
- [11] Kalin M., Fygn A., Theeler T. N. The chemistry of conventional and alternative treatment systems for the neutralization of acid mine drainage. *Science of the Total Environment* 2006, 366(2-3) : 395-408
- [12] Ritz S., Ayar C., Caeal. Verbesserte Passivität Behandlung hoher Zn- und Mn-Konzentration mit kaustischer Magnesia (MgO) : Auswirkung der Partikelgröße. *Environmental Science and Technology* 2008, 42(24) : 9370-9377
- [13] "o," Ä U," \$, µ.g C M Fe, Mn 8 (1) .3, Ð., 1999, 5(1) : 5-9
- [14] Robert S. H., Robert T. N., Ritz L. P. K. Passive Bioremediation of Acid Mine Drainage. U.S. Bureau of Mines IC9389, 1994 35
- [15] gü, i@ Ä, a. I SC Mi 2 XY 9 XY. & i I * + + = (4 Î. + B) , 2008, 42 (3) : 419-421
- [16] M □ c MY+ -, j : Y+) fô BC, 2001 270-271
- [17] Hem JD. Reaction of metal ions at surfaces of hydrous iron oxide. *Colloid Chemistry Acta* 1977, 41 (4) : 527-538
- [18] Tan H. Li, Zhang Gengxin, He P. I. Characterization of manganese oxide precipitates from appalachian coal mining effluents. *Applied Geochemistry* 2010, 25(3) : 389-399
- [19] = 1.4 T., - Ô á Y+ @ W Ô (-, j : < ±) fô B C, 1990 67-72
- [20] Bhatia K. G., Gupta S. Sen. Influence of acid activation on adsorption of Ni (II) and Cu (II) on kaolinite and montmorillonite. *Kinetische und thermodynamische Studie. Chemical Engineering Journal* 2008, 136(1) : 1-13
- [21] Chai A. Gao. Size and performance of a nanoxic heterogeneous catalyst mining. *Journal of Environmental Quality* 2003, 32(4) : 1277-1289
- [22] Tu Pan, Tang Changyuan, Liu Conggong *et al* Geo-Chemische Verteilung und Entfernung von As, Fe, Mn und Al in Oberflächenwasser aus Kohlefeldes im Südwesten Chinas durch saure Minenentwässerung beeinflusst *wird Environmental Geology* 2009, 57(7) : 1457-1467
- [23] McDonald D., Tebb J. A. Vorhersage der Schlammzusammensetzung und Wasserqualität durch Kalkneutralisierung von Acid Rock Drainage (ARD). *Proceedings of the Fifth Australian Workshop on Acid Drainage From Australia* 2005