

柳州市酸雨对土体物理力学性质的影响^{*}

朱寿增

(桂林工学院建设工程系)

摘 要 应用历史分析法和模拟试验对比法获得柳州市红粘土、次生红粘土在酸雨作用下,土体的含水性、可塑性和压缩性增大,密实度和抗剪强度降低。其变化程度与土体的埋深及酸雨的酸性有关。当土体埋深 $<3\text{m}$ 时,变化明显,其中 a_{1-2} 平均增大了39.3%, φ 平均降低近 10° ; $3\sim 8\text{m}$ 较明显; $>8\text{m}$ 不明显,其中 a_{1-2} 平均仅增大1.1%, φ 平均降低近 4° 。当酸雨 $\text{pH}\geq 3.0$ 时,变化幅度很小; $\text{pH}=2.0$ 时,变化幅度显著增大,其中 a_{1-2} 平均增大了147.6%, c 与 φ 的平均值分别降低57.1%和34.8%。

关键词 酸雨;土体;物理物质;水理性质;力学性质;变化率;柳州市

中图分类号 P642.114; P642.116; X517

1 酸雨分布特征

柳州市是广西的重要工业基地,其工业能源结构以煤为主。70年代以来,工业的迅速发展使煤的用量迅猛增加。由燃煤所排出的废气和烟尘对大气产生了严重污染,随之产生了酸雨。研究表明,柳州酸雨就是由于雨水在云下降落过程中,大气中的废气 SO_2 、 NO_x 等与雨水充分接触并进入其中氧化成硫酸等降落地表而成。自1981年在柳州市区发现有严重的酸雨以来,至今已成为酸雨频率和酸性上仅次于重庆和贵阳的酸雨污染区。

据该市环保局1983~1988年酸雨监测资料,酸雨的多年平均频率为85.675%, pH 值最低为3.0,平均值为4.31~4.68。其主要分布规律为:市区普遍分布,而沿城市主导风向(南北向)较重,边缘相对较轻。以酸雨的频率和酸性而言,一般为市区 $>$ 边缘区 $>$ 郊区 $>$ 郊县。东西向降雨酸性分布具有两侧低,市中心高的特点。该市降雨的基本化学成分如表1所示。雨水中阴离子含量以 SO_4^{2-} 为主, HCO_3^- 次之;;阳离子含量则以 Ca^{2+} 为主,其它离子含量很少。雨水的酸性以 $\text{pH}=4.0\sim 4.99$ 为主,频率占全部降雨的60%以上, $\text{pH}<3.5$ 的频率较少,一般都在3%以内。

2 酸雨对土体物理力学性质的影响

2.1 历史分析法

据该市区(柳州钢铁厂、柳东等)红粘土和次生红粘土1960年和1991年的大量土工试验资料的统计对比分析,获得1960~1991年在酸雨污染条件下土体物理力学性质指标的变化情况。该分析可视为自然的原位试验分析法。

1995年10月6日收稿,1996年1月11日改回。

作者简介:朱寿增,男,1962年出生,讲师,岩石工程专业。

^{*}国家自然科学基金资助项目(编号:48970160)

表 1 柳州市降雨基本化学成分

Table 1 Basic composition table of precipitation in Liuzhou city

浓 度	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺
$\rho / \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	14.10	1.0	4.0	5.0	0.8	0.5	0.2	0.76
$c / \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	0.2936	0.028	0.0656	0.25	0.066	0.022	0.0051	0.042
$c(\frac{1}{2}\text{BZ}^{\pm})$ / $\text{mmol} \cdot \text{L} \cdot \text{T}^{-1}$	0.1458	0.028	0.0656	0.125	0.033	0.022	0.0051	0.042

据建工部综合勘察院中南分院 1960 年 100 余件市区红粘土、次生红粘土土工试验成果(表 2)和柳州市勘测研究院 1991 年 100 余件市区红粘土、次生红粘土土式试验结果(表 3)可知:土体物理性质指标(w , r , r_s , e)的变异性均较低;水理性质指标(W_L , W_p , I_p)的变异性中等偏低,它们的统计平均值都具有较好的代表性。但土体力学性质指标(a_{1-2} , c , φ)的变异系数较大,尤以压缩系数 a_{1-2} 为甚。说明这些指标值的离散程度较大。但土体的压缩系数以中等偏低占绝大多数,低压缩性和中等偏高压缩性很少,无高压缩性出现。说明统计平均值具有较好的代表性。

表 2 和表 3 的统计结果对比可知,30 年来,在酸雨作用下,土体的含水率 W 增大,变化率为 10.9%;重度 r 减小,变化率为 1.5%;孔隙比 e 增大,变化率为 2.4%;颗粒密度 r_s 不

表 2 柳州市红粘土、次生红粘土土工试验资料统计(1960)

Table 2 Statistical table of result of soil tests of red clay and secondary red clay in Liuzhou city in 1960

指 标	$W / 10^{-2}$	$r / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	$r_s / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	e	$W_L / 10^{-2}$	$W_p / 10^{-2}$	I_p	$a_{1-2} / \text{MPa}^{-1}$	c / kPa	$\varphi / ^{\circ}$
统计个数	119	116	116	116	119	119	119	98	19	19
范 围 值	22.6~58.0	15.5~21.5	2.70~2.87	0.660~1.689	40.9~93.0	22.4~53.5	17.3~43.1	0.05~0.47	22~67	17~32
平 均 值	35.6	18.25	2.777	1.070	60.75	34.01	26.73	0.163	51.3	26.03
标 准 差	9.22	0.98	0.031	0.250	12.466	7.824	6.754	0.07	11.7	4.360
变异系数	0.259	0.054	0.011	0.234	0.205	0.231	0.253	0.429	0.228	0.167

表 3 柳州市红粘土、次生红粘土土工试验资料统计(1991)

Table 3 Statistical table of result of soil tests of red clay and secondary red clay in Liuzhou city in 1991

指 标	$W / 10^{-2}$	$r / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	$r_s / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	e	$W_L / 10^{-2}$	$W_p / 10^{-2}$	I_p	$a_{1-2} / \text{MPa}^{-1}$	c / kPa	$\varphi / ^{\circ}$
统计个数	123	104	104	104	123	123	123	104	79	79
范 围 值	24.4~54.1	17.0~19.5	2.66~2.83	0.72~1.39	51~101	27~58	18~49	0.08~0.47	16.7~139.3	4~29
平 均 值	39.47	17.98	2.776	1.096	77.21	44.40	32.81	0.179	77.05	16.99
标 准 差	6.029	0.509	0.028	0.136	11.580	6.303	7.629	0.076	23.035	5.360
变异系数	0.153	0.028	0.010	0.124	0.150	0.142	0.233	0.425	0.299	0.315

变。液限 W_L 和塑限 W_p 和塑性指数 I_p 均增大，变化率分别为 27.1%、30.6% 和 22.7%；压缩系数 a_{1-2} 增大，平均变化率为 9.8%；内聚力 c 增大，内摩擦角降低，变化率分别为 50.2% 和 34.7%。虽然 c 值的增长率大于 φ 值的降低率，但从 c 、 φ 值对土体抗剪强度的贡献来看，土体的总体抗剪强度降低。以上说明在酸雨作用下，土体的含水性、可塑性增大；孔隙性、压缩性增大；密实性、抗剪强度降低。

若将上述土工试验结果按取样深度 < 3 m、3~8 m 和 > 8 m 分段进行统计，其结果如表 4~表 6。

表 4 1960 和 1991 年土工试验资料统计（取样深度 < 3 m）

Table 4 Statistical table of result of soil tests in 1960 and 1991 (sampling depth < 3 m)

时间	指 标	$W / 10^{-2}$	$r / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	$r_s / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	e	$W_L / 10^{-2}$	$W_p / 10^{-2}$	I_p	$a_{1-2} / \text{MPa}^{-1}$	c / kPa	$\varphi / ^\circ$
1960	统计个数	26	26	26	26	26	26	26	25	1	1
	范 围 值	24.4~36.5	16.9~21.5	2.70~2.82	0.739~1.200	41.4~72.2	22.8~46.7	17.4~28.0	0.05~0.30		
	平 均 值	29.05	18.54	2.763	0.929	53.23	31.43	21.76	0.14	43	29
	标 准 差	3.344	0.96	0.029	0.129	7.686	6.822	3.043	0.062		
	变异系数	0.115	0.052	0.011	0.139	0.144	0.217	0.140	0.433		
1991	统计个数	28	26	26	26	28	28	28	26	13	13
	范 围 值	24.4~43.3	17.1~19.5	2.70~2.81	0.72~1.23	51~84	27~49	18~40	0.08~0.47	44.1~139.3	12~29
	平 均 值	33.47	18.23	2.762	0.983	65.57	39.07	26.5	0.195	77.33	20.92
	标 准 差	4.868	0.635	0.023	0.131	7.997	6.000	5.849	0.111	27.898	4.63
	变异系数	0.145	0.035	0.008	0.133	0.122	0.154	0.221	0.568	0.361	0.221

表 5 1960 和 1991 年土工试验资料统计（取样深度 3~8 m）

Table 5 Statistical table of result of soil tests in 1960 and 1991 (sampling depth 3~8 m)

时间	指 标	$W / 10^{-2}$	$r / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	$r_s / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	e	$W_L / 10^{-2}$	$W_p / 10^{-2}$	I_p	$a_{1-2} / \text{MPa}^{-1}$	c / kPa	$\varphi / ^\circ$
1960	统计个数	47	47	47	47	47	47	47	32	16	16
	范 围 值	22.6~58.0	15.5~21.3	2.71~2.87	0.66~1.689	40.9~84.7	22.4~50.9	17.8~40.1	0.05~0.47	22~67	20~32
	平 均 值	33.73	18.33	2.776	1.037	58.51	33.25	25.16	0.163	51.5	26.84
	标 准 差	8.864	0.106	0.034	0.259	10.986	7.498	5.356	0.009	12.4	3.576
	变异系数	0.263	0.058	0.012	0.250	0.188	0.225	0.213	0.564	0.243	0.133
1991	统计个数	55	53	53	53	55	55	55	53	41	41
	范 围 值	28.9~46.1	17.0~19.0	2.66~2.83	0.81~1.29	54~100	29~58	20~46	0.08~0.33	24.5~139.3	4~29
	平 均 值	38.8	17.94	2.776	1.103	78.05	45.67	32.38	0.172	77.06	17.63
	标 准 差	4.408	4.51	0.030	0.110	10.197	5.904	7.292	0.05	21.83	5.18
	变异系数	0.114	0.025	0.011	0.100	0.131	0.129	0.225	0.291	0.283	0.294

表 6 1960 和 1991 年土工试验资料统计 (取样深度 >8 m)

Table 6 Statistical table of result of soil tests in 1960 and 1991 (sampling depth >8 m)

时间	指 标	$W / 10^{-2}$	$r / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	$r_s / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	e	$W_l / 10^{-2}$	$W_p / 10^{-2}$	I_p	$a_{1-2} / \text{MPa}^{-1}$	c / kPa	$\varphi / ^\circ$
1960	统计个数	46	43	43	43	46	46	46	41	2	2
	范 围 值	27.2~57.9	16.2~19.6	2.73~2.87	0.821~1.653	41.7~93	24.4~53.5	17.3~43.1	0.28~0.31	55~59	17~19
	平 均 值	41.20	17.99	2.789	1.190	67.29	36.14	34.14	0.176	57	18
	标 准 差	8.721	0.86	0.027	0.243	13.029	8.262	6.958	0.051		
	变异系数	0.212	0.048	0.010	0.205	0.194	0.229	0.204	0.290		
1991	统计个数	40	25	25	25	40	40	40	25	25	25
	范 围 值	36.8~54.1	17.2~18.6	2.74~2.83	1.01~1.39	66~101	37~57	28~49	0.08~0.45	16.7~120.6	7~24
	平 均 值	44.58	17.83	2.788	1.196	84.2	46.4	37.8	0.178	76.88	13.88
	标 准 差	4.141	0.396	0.023	0.104	9.10	4.94	5.49	0.078	23.259	4.33
	变异系数	0.093	0.022	0.008	0.087	0.108	0.106	0.145	0.438	0.303	0.312

由表 4~表 6 可知,表中各指标的变异系数从总体上来说均较表 2 和表 3 有所降低,但其规律基本相同,即力学性质指标的变异性较高,其余指标的变异性均较低,说明各表中的平均值仍具有较好的代表性。

在地表深度 3 m 以内 (表 4),土体的含水率增大了 15.2%;重度减小了 1.7%;孔隙比增大了 5.8%;土粒密度仍基本保持不变;液限、塑限和塑性指数分别增大了 25.1%, 24.3% 和 21.8%;压缩系数增大了 39.3%, c, φ 值分别增大了和减小了 79.8% 和 27.9%。

在地表下 3~8m 范围内 (表 5),土体的含水率增大了 15%;重度减小了 2.1%;孔隙比增大了 6.4%;土粒密度仍保持不变;液限、塑限和塑性指数分别增大了 33.4%、37.4% 和 28.7%;压缩系数增大了 5.5%; c, φ 值分别增大和减小了 50.8% 和 34.1%。

在地表 8m 以下 (表 6),土体的含水率增大了 8.7%,重度减小了 0.9%;;孔隙比增大了 0.5%;颗粒密度不变;液限、塑限、塑限和塑性指数分别增大了 25.1%、28.4% 和 10.7%;压缩系数增大了 1.1%; c, φ 值分别增大和减小了 34.5% 和 22.9%。

对比结果表明:在目前酸雨频率和酸性条件下,酸雨对土体力学性质的影响在地表 3m 以内最大,压缩系数平均增大了 39.3%,内摩擦角平均降低近 10 度;在 3~8 m 范围内影响比较明显,压缩系数平均增大了 5.5%,内摩擦角平均降低近 10 度;但在地表 8 m 以下影响不明显,其压缩系数平均仅增大了 1.1%,内摩擦角平均降低 4 度左右。酸雨对土体物理性质的影响在地表 8 m 范围较明显。大于 8 m 时不明显。其中孔隙比在 <3m、3~8 m 平均增大了 5.8% 和 6.4%, >8 m 时仅增大了 0.5%;重度在 <3 m、3~8 m 平均减小了 1.7% 和 2.1%, >8 m 时仅减小了 0.9%。含水率也具有类似规律。但酸雨对土体水理性质的影响在各段范围内均较明显。其增长率绝大多数均大于 20%。

2.2 模拟试验方法

历史分析法给出了自然条件下酸雨对土体物理力学性质的影响随时间和空间的变化规律。说明酸雨对土体物理力学性质确实产生了不利影响。但它未能说明这种不利影响与酸雨

酸性的关系。为此，笔者等在该市区红粘土和次生红粘土分布的半导体厂等 5 个建筑场地取原状样进行了室内模拟试验。考虑到红粘土和次生红粘土的渗透系数很小，若以原状样喷淋模拟酸液进行试验，酸液将很难进入试样内部，因而就很难与试样起充分作用。故将原状样捣碎，然后直接浸泡于不同的 pH 值的模拟酸液中。一个月后风干重塑，再测定其主要物理力学性质指标。为了使各项指标具有可比性，在试样扰动和浸酸前，已分别做了原状样和扰动重塑样的土工试验。其中扰动重塑样和浸酸后各重塑试样均以其重度和含水率接近原状样的重度和含水率为控制标准（试样重塑时，只测定了重度，因浸泡土量过少等原因，其含水率没有直接测定，各试样都是在室内自然风干 7 天，基本上均呈硬塑状态）。各场地的模拟试验结果如表 7 所示。

表 7 室内模拟试验结果统计

Table 7 Table of results of laboratory imitative tests

场 地	试 样 状 况	指 标				
		$\gamma / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	e	$a_{1-2} / \text{MPa}^{-1}$	c / kPa	$\varphi / ^\circ$
No 1 柳州 半导体厂	未浸酸 (原状样)	19.60	0.931	0.163	47	26
	未浸酸 (重塑样)				55	15
	pH=4.5 (重塑样)	17.91	1.106	0.260	55	17
	pH=3.0 (重塑样)	18.10	1.091	0.220	45	14
	pH=2.0 (重塑样)	17.94	1.110	0.354	30	14
No 2 柳钢 防疫站	未浸酸 (原状样)	19.5	1.105	0.224	62	24
	未浸酸 (重塑样)	18.53	1.007	0.160	40	22.4
	pH=4.5 (重塑样)	18.26	1.047	0.529	25	13.5
	pH=3.0 (重塑样)	18.29	1.044	0.351	20	14.5
	pH=2.0 (重塑样)	18.13	1.062	0.430	10	11
No 3 柳州市 第二化工厂	未浸酸 (原状样)	20.40	0.839	0.214	98	26
	未浸酸 (重塑样)	18.40	1.076	0.160	75	21.5
	pH=4.5 (重塑样)				55	10.7
	pH=3.0 (重塑样)	18.20	1.061	0.245	70	14.5
	pH=2.0 (重塑样)	18.03	1.080	0.270	35	12.0
No 4 柳钢科 技活动中心	未浸酸 (原状样)	18.11	1.105	0.15	45	27
	未浸酸 (重塑样)	17.80	1.122	0.12	70	16
	pH=4.5 (重塑样)	18.00	1.118	0.38	50	16
	pH=3.0 (重塑样)	18.00	1.118	0.10	70	15.5
	pH=2.0 (重塑样)				25	8.5
No 5 锌品厂潭 中大道住宅楼	未浸酸 (原状样)	19.2	0.931	0.133	20	33
	未浸酸 (重塑样)	18.41	1.039	0.14	75	17.8
	pH=4.5 (重塑样)	17.98	1.062	0.19	50	14
	pH=3.0 (重塑样)	18.03	1.057	0.08	50	17
	pH=2.0 (重塑样)	17.96	1.065	0.38	20	14.8

由表 7 可知, 对于 No. 1, No. 2 和 No. 3 三个场地, 其力学性质指标的变化基本遵循随酸液酸性的增强, 其压缩性增大, 抗剪强度降低的规律。对于 No. 4 和 No. 5 场地, 在 $\text{pH}=3.0$ 时, 其压缩系数分别为 0.10 和 0.08, 已低于原状试样的数值 (原状样的压缩系数分别为 0.15 和 0.133), 且抗剪强度接近于未浸酸的扰动样, 故可认为是异常现象。若将其排除, 则其力学性质指标的变化仍遵循随酸液酸性的增强, 其压缩性增大, 抗剪强度降低的规律。

综合 5 个场地的情况来看, 在未浸酸前, 原状土因原有结构被扰动 (捣碎), 虽经重塑, 但其密度仍难以达到原有水平, 且原有结构不可恢复, 因此, 其抗剪强度有较显著的降低。但其压缩性却没有增大, 却反而有所降低, 说明了土体的抗剪强度在很大程度上取决于土体的结构。而土体的压缩性除与土体结构有一定关系外, 更多地取决于其它因素。初步分析这一现象的出现主要与扰动样重塑时击实功能过大 (在击实机上, 击打次数达 50 余击才使其重度较接近原状样的重度。此时, 其对试样所施加的压力已超过 100 KPa 以上) 造成的。在重塑样中, 在土体密实度大致相同的情况下, 随酸液酸性的增强, 其压缩性随之增大, 抗剪强度随之降低。但这种变化并非呈线性关系。在酸液 $\text{pH}>3.0$ 时, 变化较缓慢, 土体的压缩性在 $\text{pH}=3.0$ 左右时, 甚至还出现反复, 但当酸液的 pH 值达到 2.0 时, 对土体的压缩性和抗剪强度都将产生明显影响。其中压缩系数较未浸酸前平均增大了 147.6%, 内聚力和内摩擦角平均减小了 57.1% 和 34.8%。

3 结 论

(1) 柳州市酸雨主要是燃煤过程中释放出的废气和烟尘对大气污染所造成的该市已成为酸雨污染区, 并已对土体的一系列性质产生了不良影响。随着工业用煤的进一步增加, 若不加强环保治理, 酸雨污染将会进一步加剧, 对土体产生更为不利的影响。

(2) 从 1960~1991 年, 酸雨已对市区红粘土、次生红粘土的物理力学性质产生了较为明显的不利影响。使土体的密实度和抗剪强度降低、压缩性、含水性和可塑性增大。推测酸雨对其它土体的物理力学性质也会产生类似的不利影响。同时, 随着时间的增长, 这种不利影响还将进一步增强。

(3) 酸雨对土体力学性质的影响是随其埋深的不同而不同的。其对土体物理力学性质的影响在地表 3 m 以内明显, 3~8 m 较明显, >8 m 不明显; 其对土体含水性的影响和可塑性、等水理性质的影响在不同埋深处都较明显。这种规律, 对大多数多层工业与民用建筑非常不利。

(4) 土体力学性质的变化基本遵循随酸雨酸性的增强, 其压缩性增大, 抗剪强度降低的规律, 但两者并非呈线性关系。在 pH 值大于 3.0 时影响不大, pH 等于 2.0 时影响显著增大。因此, 若不加强环保治理措施, 一旦使酸雨的 pH 值达到 2.0 以下, 或人为长期排放强酸性工业废水, 将会使土体的力学性质大大恶化, 从而危及建筑物的安全。

本文撰写过程中得到杨忠耀教授的大力帮助和有益教诲, 马旦军和杨宇同学参加了室内模拟试验的全过程, 柳州市勘察院提供了部分资料, 在此一并表示衷心的感谢!

A DISCUSSION ABOUT THE EFFECT OF ACID-RAIN ON SOIL MASS PHYSICAL AND MECHANICAL NATURE IN LIUZHOU CITY

Zhu Shouzeng

(Department of construction Engineering, Guilin Institute of Technology)

Abstract It is obtained by historical analysis and imitative test contrast that the law of changes of physical and mechanical nature of the red clay and secondary red clay by the action of acid-rain in Liuzhou city. Under the action of acid-rain, their nature of moisture, plasticity and compaction increase, otherwise the degree of compaction and the shear strength decrease. The changing is most evident when the buried depth of soilmass is littler than 3m, the average of a_{1-2} increased by 39.3 percent and the avevage of φ decreased by nearly 10° . Wfhen the depth lise between 3 to 8m, the changes more evident. When the buried depth over 8m, the changes show little evident, the index of a_{1-2} increases only by 1.1 percent and the average of φ decreases by nearly 4° . The rate of change is dependent on the pH of the acid-rain. When the value of $\text{pH} > 3$, the changing rate is small. The evident changing rate occures when the pH is equal to 2, the average of a_{1-2} increases 147.6 percent, the average of c , φ decreases 57.1% and 34.8% respectively.

Key words acid-rain; soilmass; physical nature; hydrophysical nature; mechanical nature; change rate; Liuzhou city

天然沸石的性能和用途

天然沸石是一组由碱金属和碱土金属构成的含水的铝硅酸盐矿物。它有 40 多个变种, 但只有斜发沸石、菱沸石和丝光沸石才具有工业价值。天然沸石的性能就广义而言可分为: 离子交换、水中吸附和解吸附、气体吸附 3 类。

1. 离子交换。沸石具有很高的选择性阳离子交换能量, 故适用于核废料处理、冶金废物处理、土壤改良等领域。当放射性废物穿过装满沸石的滤柱时, 沸石可以选择性吸附铯 134、铯 137 和锶 90。用斜发沸石和菱沸石处理放射性废物已有 30 多年历史。在黑色和贱金属加工、冶炼和精炼生产中, 使用沸石处理污物具有很大的潜力。另外, 还可以利用沸石的离子交换性和滞水性改良土壤。斜发沸石对氨具有很高的选择性吸附性能, 可以缓慢地释放氨, 通过提高土壤的离子交换能量改善土壤的含氮量。

2. 水中吸附和解吸附。沸石能够吸附和解吸附水分子而不影响其晶体结构, 最简单的应用就是脱水。沸石尤其适用于在低温条件下控制水分含量。沸石的等温吸附线属一种极端的非线性关系, 与其他吸附材料比, 能提高制冷效率 50% 以上。沸石的脱水和重新水化作用也能用于冰箱生产。

3. 气体吸附。沸石能有效地除去气流中的某些成分。美国成功地应用菱沸石除去了天然气中 25% 的二氧化碳、硫化氢和水。沸石也可以净化填土产生的甲烷气体。当干燥气体穿过装满沸石的吸附管时, 水分、硫醇和硫酸 3 种杂质就被清除掉。使用沸石去除废气, 还可提高甲烷的热含量, 使甲烷可成为一种重要的能源。

在水泥和混凝土中, 沸石可以充当配料。当斜发沸石在 $1200^\circ\text{C} \sim 1400^\circ\text{C}$ 燃烧时, 它能出现发泡现象, 形成一种膨胀材料。试验表明, 在较高温度下, 沸石具有更高的强度和更好的耐腐蚀性能。

天然沸石的应用市场是巨大的, 开发前景光明。随着技术的进步、经济的发展, 沸石已应用特殊的市场领域。最有发展前途的沸石应用市场当推农业领域, 如充当动物饲料添加剂和消除氨气与臭味等。

(詹庚中)