

库车坳陷复合盐层高密度环保钻井液技术研究

瞿凌敏¹ 熊新民² 邓建玲³ 卢虎¹ 王怀盛⁴ 吴晓花⁴ 唐林⁴

(1. 中国石油塔里木油田分公司勘探开发部; 2. 中国石油塔里木油田分公司建设工程有限责任公司;
3. 中国石油塔里木油田分公司综合治理办公室; 4. 中国石油塔里木油田分公司质量检测中心)

摘 要 通过对处理剂环保性能评价及作用效果优选、高密度环保钻井液配方及其钻井液的流变性、失水性、抗温性、抑制性、抗污染等综合性能评价等一系列实验研究,形成了一套适合山前构造带的环保钻井液体系。该钻井液具有无毒、易降解、密度高(2.0 g/cm^3 和 2.3 g/cm^3)、高温高压失水低、流变性好、抗高温可达 $130\sim 140^\circ\text{C}$,性能稳定,抑制性、润滑性能好,抗污染能力强,既能够满足复合盐层钻井工程需求,又具环保性能好的特点。

关键词 库车坳陷 复合盐层 高密度 饱和盐 环保钻井液

中图分类号: TE254

文献标识码: A

文章编号: 1005-3158(2011)05-0037-06

0 引 言

随着塔里木石油勘探开发的进一步深入,钻井生产中如何保护环境、控制污染越来越受到广泛的关注及重视。保护环境必须从污染源头开始控制,因此,在钻井过程中使用的钻井液是很重要的一环。目前,对于常规密度的钻井液,国内已进行了大量研究,找到了适合塔里木油田保护环境、保护油气层的“双保钻井液”体系,而对于高密度钻井液($\rho\geq 2.0\text{ g/cm}^3$)则研究较少,还不能完全满足山前高密度盐膏层钻井的需要。

山前构造地区复合盐层分布范围广,几乎所钻探井均有见到。目前对该地层钻井主要采用氯化钾饱和盐水聚磺钻井液体系和强抑制、强封堵高密度钻井液体系,这两种体系均存在流变性、失水性,维护控制较困难,只能解决山前构造钻井工作中的部分复杂问题。另外,这两种体系还存在不能满足环保要求的缺点,必须研究出一套既能够满足该区块钻井工程要求,又能够满足环保要求的钻井液体系。针对山前构造盐膏层钻井中存在的复杂问题,通过高密度环保钻井液用处理剂筛选研究、高密度环保钻井液配方研究以及钻井液的流变性、失水性、抗温性、抑制性、抗污染等综合性能评价^[1]等方面的研究,形成一套适合塔里木山前构造带保护环境的复合盐层钻井液技术,满足山前盐层钻井和环境保护,减少事故复杂损失时间,达到可持续发展的目的。

1 复合盐层高密度环保钻井液

1.1 钻井液环境污染控制

控制钻井液对环境的污染必须从钻井液处理剂、

钻井液的毒性、钻井废物对环境污染的危害、废弃钻井液及钻屑的排放等方面进行控制^[2]。控制钻井液毒性、降低钻井液污染危害,主要是用无毒或毒性小的钻井液添加剂,用可生化、无环境危害的钻井液体系替代难生物降解、危害大的钻井液体系。并且在钻井过程中,通过设计性能优良的钻井液体系,增加井眼的稳定,防止钻井故障,并减少钻井液不必要的浪费。

目前塔里木油田对于钻井完井液环境污染性能的控制主要从钻井(完井)液处理剂及其废弃物中的有害物质、生物毒性以及生物降解性三个方面进行控制。

1.2 复合盐层高密度环保钻井液设计

目前针对复合盐层钻井液体系中存在的问题,结合山前构造地区盐层钻进中夹有易吸水膨胀的复合盐层主要特点,确定钻井液体系为饱和盐氯化钾聚合物钻井液,设计所研究的复合盐层高密度环保钻井液必须达到以下要求:所用处理剂要求无毒且易降解,满足环保要求,可直接排放;密度高,抗高温,稳定性好,抑制性能强,能够有效防止软泥岩地层的水化分散;具有良好的抗污染和润滑性能,防止发生阻卡^[3];易于控制处理等特点,能够满足山前构造地区复合盐层钻井需要。

2 高密度环保钻井液配方研究

高密度环保钻井液配方研究主要是先筛选毒性低、抗温抗盐性能好、可满足排放要求的环保钻井液处理剂,包括高密度钻井液用加重剂、提粘剂、降失水剂、井壁稳定剂、流型调节剂等处理剂的环保性能的

评价及单项性能的优选。在此基础上用所优选出的处理剂进行配方实验,实验中尽量减少钻井液中的固相含量,采用可溶性盐(无机盐或有机盐)提高钻井液基液密度,加重材料尽量选择密度高的加重剂,保持较好的流变性,并且具有抗高温、抑制性好、抗污染能力强的性能。

2.1 高密度环保钻井液用处理剂的筛选

2.1.1 环保型降滤失剂的优选

由于采用常规加重剂加重的高密度聚合物钻井

液的流变性与高温高压失水的控制间存在矛盾(流变性较好的高密度钻井液往往高温高压失水偏高),为此,选择既能够有效降低高温高压失水又对流变性影响不大的降滤失剂,是控制高密度钻井液流变性和失水性的关键问题之一。

根据降滤失剂环保性能检测结果,对具有较好环保及抗温抗盐性能的降失水剂在 130℃、饱和盐(25%NaCl、5%KCl)条件下的流变性 & 降失水性能进行了优选,实验结果见表 1。

表 1 环保降失水剂性能评价

序号	名称	加量/ %	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/Pa	G ₁₀ ⁰ /G ₁₀ ⁰ / (Pa/Pa)	APIFL/h/ (mL/mm)	HTHP FL/h/ (mL/mm)	pH
1	基浆		13.0	6.0	7.0	3.5/3.5	22	/	
2	MST-10	1.0	8.5	6.5	2.0	1.0/7.5	38	250.0	9
3	提切剂 1	1.0	27.5	10.0	17.5	17.5/22.0	15.0	48.0	9
4	抗高温环保 降失水剂	1.0	22.0	12.0	10.0	9.0/22.0	11.0	38.0	9
5	JHG-2	4.0	36.5	7.5	29.0	19.5/18.0	16.0	46.0	9
6	OCL-HDF-1	4.0	22.5	16.0	6.5	0.5/1.0	3.5	62.0	9
7	NAT-20	1.0	13.5	11.5	2.0	0.5/2.5	12/0.2	48/4	9
8	LY-1	2.0	17.0	10.0	7.0	0.0/0.5	7.5	45.0	9
9	HFT-301	3.0	29.0	5.0	24.0	13.0/13.5	50.0	100(10 min)	9

表 2 环保增粘剂增粘性能评价

序号	名称	加量/ %	条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/Pa	G ₁₀ ⁰ /G ₁₀ ⁰ / (Pa/Pa)	APIFL/h/ (mL/mm)	HTHP FL/h/ (mL/mm)	pH
1	基浆	0	常温	15.0	6.0	9.0	5.0/5.0	/	/	9
			老化	13.0	6.0	7.0	3.5/3.5	22	/	9
2	KPAM	1	常温	33.0	23.0	10.0	2.5/8.5	/	/	9
			老化	83.5	15.0	68.5	28/28	14.5	64.0	9
3	PAC-HV	1	常温	17.0	13.0	4.0	0.5/5.0	/	/	9
			老化	24.0	18.0	6.0	4.0/8.0	5.0	61.0	9
4	XCD	1	常温	27.5	19.0	8.5	9.5/55.0	/	/	9
			老化	24.5	17.0	7.5	10.0/53.0	12.0	44.0	9
5	HEC	1	常温	起泡严重					/	9
			老化	14.5	8.0	6.5	3.5/5.0	44.0	/	9
6	IND-10	1	常温	42.0	21.0	21.0	7.5/14.0	/	/	9
			老化	17.5	13.0	4.5	2.0/5.5	10.5	78.0	9

表 1 实验数据可看出:在高温、饱和盐条件下,降失水性能较好的降失水剂有:提切剂 1、抗高温环保降失水剂、JHG-2、NAT-20、LY-1,从滚动前后流变性能的变化来看,NAT-20、LY-1 变化不大,抗高温环保降失水剂、JHG-2、提切剂 1 的粘度和切力有所增大。

2.1.2 环保型增粘剂的优选

塔里木使用的 10 种钻井液用增粘剂进行了环保性能评价,能够满足环保要求的增粘剂包括:KPAM、PAC-HV、XCD、HEC、IND-10 等五种,对其进行增粘性能评价实验,结果见表 2。

表 2 实验数据表明:具有较好性能的环保型增粘剂为 XCD。

2.1.3 环保型降粘剂的优选

对满足环保要求的抗高温、抗饱和盐降粘剂 SF-260 进行降粘性能评价,实验数据见表 3,实验结果表明该处理剂具有较好的降粘性能。

表 3 环保降粘剂降粘性能评价

序号	名称	条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	G _{10'} /G _{10'} / (Pa/Pa)	pH
1	基浆	常温	15.0	6.0	9.0	5.0/5.0	9
		老化	13.0	6.0	7.0	3.5/3.5	9
2	1# + 0.5% SF-260	常温	16.0	6.0	10.0	5.0/5.5	9
		老化	8.5	5.0	3.5	2.5/2.5	10

2.1.4 环保型润滑剂的优选

资料调研表明能够满足环保要求的润滑剂均为聚合醇类润滑剂:PE-1、PE-2 和 SYP-2 三种。对该三种润滑性能对比评价实验,实验数据见表 4。

表 4 环保型润滑剂润滑性能对比评价

序号	名称	泥饼粘滞系数	摩阻系数
1	基浆	0.3057	0.446
2	基浆+5%PE-1	0.2401	0.503
3	基浆+5%PE-2	0.3513	0.524
4	基浆+5%SYP-2	0.1317	0.340

结果表明:环保型润滑剂 SYP-2 的润滑性能较好。

2.1.5 环保型防塌抑制剂的优选

对塔里木油田使用的 13 种钻井液用防塌抑制剂

进行了环保性能评价,结果表明:能够满足环保要求的防塌抑制剂为 KCl。由于多元醇样品基本均具有较好的防塌抑制性能,将优选出的具有较好环保性能的多元醇 PE-1、PE-2 以及所选用的润滑剂 SYP-2 与 KCl 一起进行了滚动回收率实验,实验数据见图 1。

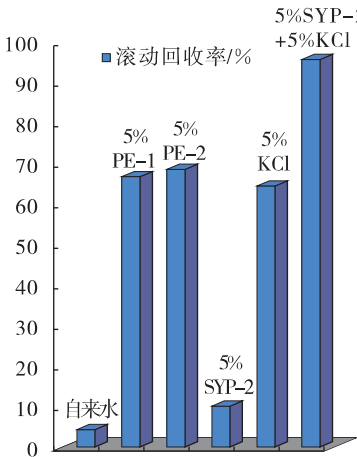


图 1 防塌抑制剂岩屑回收率实验结果

实验结果表明:这三种处理剂中除 SYP-2 外均具有较高的与 KCl 相当的滚动回收率,虽然 SYP-2 的滚动回收率相对较低,但使用 5% 的 SYP-2 润滑剂与 5% 的 KCl 复配后滚动回收率大大提高,抑制效果最好。综合考虑,选用 5% 的 SYP-2 与 5% 的 KCl 复配作为本次配方研究中的防塌抑制剂。

2.1.6 环保型加重剂的优选

对塔里木油田使用的各种型号的钻井液用加重剂进行了环保性能评价。能够满足环保要求的加重剂如下:重晶石粉、BGH-1、铁矿粉、重粉 II、Weight1、Weight2、BGH- II 等七种。

高密度钻井液配方研究实验数据表明,采用铁矿粉与活化重晶石或保护油层加重剂 BGH-1 按 2~3 : 1(质量比)的比例混合加重,在适当的高温降失水剂加量条件下,与单独加入铁矿粉或重晶石粉相比能够有效控制高温高压滤失量。因此,本次研究中仍旧采用无毒的铁矿粉与活化重晶石或保护油层加重剂 BGH 按照 2~3 : 1(质量比)的比例混合加重。

2.1.7 优选处理剂环保性能评价

按照塔里木油田环保钻井液环保性能评价标准^[4]对以上优选处理剂进行评价,结果表明:所选处理剂均无毒,较易生物降解,能满足环保的要求,见表 5。

2.2 高密度环保钻井液配方优选

根据现场需要,采用所优选出的性能优良的环境

型处理剂,分别对密度为 2.0 g/cm³和 2.3 g/cm³的高密度环保钻井液配方进行了配方优选实验。

2.2.1 密度为 2.0 g/cm³和 2.3 g/cm³的高密度抗饱和盐环保钻井液配方优选

使用优选出的具有抗高温抗盐的环保型处理剂,并采用高铁粉与活化重晶石粉按照一定比例加重,配

制不同配方的钻井液,在 130℃温度条件下滚动 16 h 后,测定其各项性能,进行配方优选实验,见表 6。

综合各项性能确定优选出的密度分别为 2.0 g/cm³和 2.3 g/cm³的抗饱和盐抗高温高密度环保钻井液,其配方性能见表 7。优选配方的流变性较好,高温高压失水较低,并且具有较好的润滑性能。

表 5 优选配方中所用处理剂及钻井液环保性能综合评价结果

项 目		评价指标		处理剂及钻井液环保性能								
有害 物质 (化学 毒性)	名称	中性或 碱性土 壤中	酸性 土壤 中	抗高温 降失水 剂	CMC-LV	LY-1	SYP-2	NAT-20	提切 剂 1	BGH-Ⅱ	高铁粉	优选 配方
	Cd	≤20	≤5	0.173	0.625	<0.25	<0.25	<0.25	—	0.274	0.10	0.748
	Hg	≤15	≤5	0.006	0.089	0.05	0.02	0.22	0.295	0.16	—	—
	Pb	≤1000	≤300	2.78	10.8	<2.5	<2.5	<2.5	—	<2.5	—	6.53
	Cr	≤1000	≤600	1.01	0.250	172	75.4	<2.5	—	4.96	0.383	75.4
	As	≤75	≤75	2.57	4.27	4.22	0.06	—	—	1.83	0.346	16.8
生物 毒性	发光细菌 法 EC ₅₀	无毒	>10 ⁴	/	/	/	/	/	/	/	/	/
		排放限 制标准	>3×10 ⁴	>10 ⁵	>10 ⁵	>10 ⁵	>10 ⁵	7.4×10 ⁴	>10 ⁵	5.5×10 ⁴	5.5×10 ⁴	5.2×10 ³ ~ 7.4×10 ⁴
生物 降解 性	Y=	较难	Y≥5	/	/	6.2	12.3	/	/	/	/	/
	BOD ₅ /	较易	15≤Y<25	/	21.0	/	/	15.0	/	/	/	18.1
	COD _{Cr} /%	容易	Y≥25	8.0	/	/	/	/	31.3	/	/	/

表 6 优选配方性能实验数据

配方号	ρ / (g/cm ³)	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	G _{10″} /G _{10′} / (Pa/Pa)	HTHP FL/h/ (mL/mm)	pH
1 [#]	2.00	108.0	89.0	19.0	2.0/8.5	14.0/4.0	9.0
2 [#]	2.34	145.5	116.0	29.5	3.0/6.0	14.0/3.0	8.5

表 7 封堵优选配方性能实验数据

配方号	ρ / (g/cm ³)	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	G _{10″} /G _{10′} / (Pa/Pa)	HTHP FL/h/ (mL/mm)	pH	泥饼渗透率/ m ²
3 [#]	2.34	134.0	113.0	21.0	2.0/5.5	12.0/2.0	9.0	0.252×10 ⁻¹²

优选配方：
1[#]:2%土浆+1.0%NaOH+0.5%抗高温环保降失水剂+0.5%提切剂 1+2%NAT-20+2%LY-1

+3%SYP-2+25%NaCl+5%KCl+高铁粉：BGH-Ⅱ（3：1）；
2[#]:2.2%土浆 1.0%NaOH+0.8%抗高温降失

水剂+0.5%CMC-LV+0.8%LY-1+1.5%NAT-20+0.5%SYN-2+25%NaCl+5%KCl+高铁粉:BGH-1。

2.2.2 密度为 2.3 g/cm³ 的高密度抗饱和盐环保钻井液封堵配方优选

实验选用无毒的 NFA-25、FB-2 进行了高密度抗饱和盐环保钻井液封堵配方优选实验。优选出钻遇高渗透砂岩时的高密度抗饱和盐环保钻井液封堵优选配方 3[#], 并采用造壁性实验进行封堵性能评价。优选配方如下, 其性能实验数据见表 7。

3[#]: 2%土浆+1.0%NaOH+0.5%抗高温降失水剂+1%CMC-LV+2.0%NAT-20+3%FB-2+5%SYN-2+25%NaCl+5%KCl+高铁粉:BGH-1。

抗钙污染实验数据见表 8, 表 8 实验数据表明: 优选配方不仅具有良好的流变性和较低的高温高压失水, 而且该配方的泥饼渗透率仅为 $0.252 \times 10^{-12} \text{ m}^2$, 具有较好的造壁封堵性能。

2.3 高密度抗饱和盐环保钻井液配方评价

2.3.1 环保性能评价

对优选配方进行环保性能评价, 实验结果见表 5。

2.3.2 抑制性评价

分别对优选出的 1[#]、2[#]、3[#] 高密度抗饱和盐环

保钻井液配方在 130℃ 条件下进行泥页岩滚动回收率实验, 实验结果见图 2。

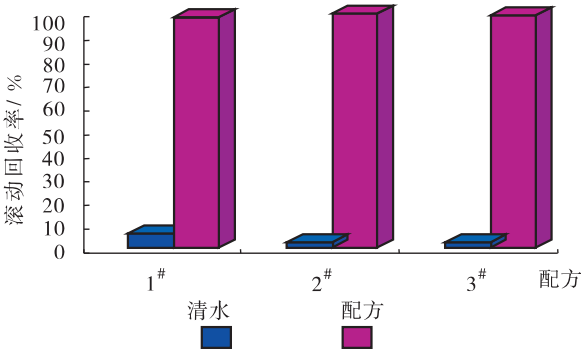


图 2 优选配方泥页岩滚动回收率实验结果

实验结果表明: 所优选出的 1[#]、2[#]、3[#] 配方的泥页岩滚动回收率达到 97% 以上, 泥页岩滚动回收提高率均可达到 97% 以上, 对泥页岩具有很强的抑制性。

2.3.3 抗污染能力评价

◆ 抗钙污染 在所优选出的 1[#]、2[#]、3[#] 配方中分别加入一定量的氯化钙, 测定其于 130℃ 条件下滚动后的流变性及失水性能, 实验数据见表 8。

表 8 实验数据可看出: 1[#]、2[#]、3[#] 配方经 0.5% CaCl₂ 污染前后, 流变性及失水性能变化不大, 说明该

表 8 抗钙污染实验数据

序号	配方	$\rho/$ (g/cm ³)	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	$G_{10'}/G_{10'}/$ (Pa/Pa)	HTHP FL/h/ (mL/mm)	pH
1	1 [#]	2.00	108.0	89.0	19.0	2.0/8.5	14.0/4.0	9.0
2	1 [#] +0.5%CaCl ₂		92.5	81.0	10.5	1.5/4.5	12.5/3.0	8.5
3	2 [#]	2.34	145.5	116.0	29.5	3.0/6.0	14.0/3.0	8.5
4	2 [#] +0.5%CaCl ₂		143.5	117.0	26.5	3.0/6.0	12.5/3.0	8.5
5	3 [#]	2.34	134.0	113.0	21.0	2.0/5.5	12.0/2.0	9.0
6	3 [#] +0.5%CaCl ₂		106.0	91.0	15.0	2.0/5.0	20.0/6.0	8.5

配方具有较好的抗钙污染能力。

◆ 抗土粉污染 在所优选出的 1[#]、2[#]、3[#] 配方中分别加入一定量的 184 团土粉, 测定其于 130℃ 条件下滚动后的流变性及失水性能, 实验数据见表 9。

表 9 实验数据可看出: 三套配方经 2% 土粉污染前后, 流变性及失水性能变化不大, 说明该配方具有较好的抗土粉污染能力。

2.3.4 高温稳定性评价

塔里木山前构造复合盐层埋藏深, 厚度大, 而且地层压力系数高, 要求钻井液必须具有较高的抗高温

稳定性能。因此, 对优选出的密度为 2.30 g/cm³ 的高密度抗饱和盐环保钻井液配方 (2[#]) 进行了 130℃、140℃ 条件下的抗高温稳定性能评价实验, 实验数据见表 10。

表 10 可看出: 该配方在高温 130℃、140℃ 条件下滚动 24 h 和 130℃ 条件下滚动 48 h 后的性能除高温高压失水略有上升外, 流变性能变化不大, 说明该配方具有较好的抗高温稳定性, 抗高温可达 140℃, 并且维护处理周期较长, 克服了一般聚合物钻井液维护处理频繁的缺点。

表 9 抗土粉污染实验数据

序号	配方	$\rho/$ (g/cm ³)	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	G _{10''} /G _{10'} / (Pa/Pa)	HTHP FL/h/ (mL/mm)	pH
1	1 [#]	2.00	108.0	89.0	19.0	2.0/8.5	14.0/4.0	9.0
2	1 [#] +2%土粉		92.5	78.0	14.5	2.5/9.0	15.5/4.5	9.0
3	2 [#]	2.34	128.0	105.0	23.5	3.5/7.5	10.5/3.0	9.0
4	2 [#] +2%土粉		126.5	100.0	26.5	7.5/12.5	23.0/8.0	9.5
5	3 [#]	2.34	134	113	21	2.0/5.5	12/2.0	9.0
6	3 [#] +2%土粉		121	101	20	2.5/6.0	10.0/2.5	8.5

表 10 抗高温稳定性评价实验数据

序号	滚动条件	$\rho/$ (g/cm ³)	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	G _{10''} /G _{10'} / (Pa/Pa)	HTHP FL/h/ (mL/mm)	pH
1	130℃,16 h	2.34	128.0	105.0	23.5	3.5/7.5	10.5/3.0	9.0
2	130℃,48 h		92.0	66.0	26.0	4.5/7.5	19.0/4.0	9.0
3	140℃,24 h		105.0	92.0	13.0	1.5/3.5	15.0/5.0	8.5

3 结 论

◆ 通过一系列实验,研究出的密度分别为 2.0 g/cm³ 和 2.3 g/cm³ 的高密度饱和盐环保钻井液配方所用处理剂均具有较好的环保性能。

◆ 该配方密度高(2.0 g/cm³ 和 2.3 g/cm³),高温高压失水低,并且流变性好;抗饱和盐、抗高温(可达 130~140℃),并且性能稳定;抑制性、润滑性能好,抗污染能力强,能够较好地满足复合盐层钻井。

◆ 钻遇高渗透砂岩等渗透性大的地层时,可同时配合使用 FB-2,形成的泥饼渗透率较低,可改善泥饼质量,提高泥饼压缩性,增强体系的造壁性,维护井壁稳定。

◆ 该配方所用处理剂种类少,配方简单,具有较好的抗高温稳定性,并且维护处理周期较长,克服了一般

聚合物钻井液维护处理频繁的缺点。

◆ 该配方成本相对较低,可节约钻井费用。

参 考 文 献

[1] 朱宽亮,王富华,徐同台,等.抗高温水基钻井液技术研究与应用现状及发展趋势[J].钻井液与完井液,2009,26(5):60-68.

[2] 谢水祥,邓皓,王蓉沙,等.钻井环境污染过程控制技术综述[J],油气田环境保护,2008,18(2):38-40.

[3] 徐同台,陈乐亮,罗平亚.深井泥浆[M].北京:石油工业出版社,1994.

[4] Q/SY TZ 0111—2004.环保型钻井液环保评价规范[S].

(收稿日期 2011-07-04)

(编辑 黎英)

在日常生活中,我们能为环保做些什么?

环境保护,从我做起,其实并不难,我们可以从下面几点着手:(1)注意节约用电,离开房间时关上电器,拔下插头;(2)每年参加植树造林活动,并在自己的居室内外种植花草;(3)尽可能用节能灯代替普通灯泡;(4)不购买、食用野生动物,劝亲友不要到野外捕食飞禽走兽;(5)尽量以步代车或骑自行车;(6)不要购买一次性物品,如筷子、剃刀、纸杯等,尽量选择用可回收利用材料包装的饮料;(7)购物时自己携带购物袋,不使用不可降解的塑料袋;(8)节约用水,刷牙时关闭水龙头,洗脸、洗澡、洗衣物的水可以冲洗厕所或拖地;(9)避免使用杀虫剂和除草剂,尽量施用有机肥料;(10)购买无磷洗涤剂和有绿色标志的产品。

(摘编自 中国环保网 2011-10-25)