

塔里木沙漠石油公路风沙危害*

董治宝 陈广庭 韩致文 颜长珍 李振山

(中国科学院兰州沙漠研究所, 兰州 730000)

摘要 为了给沙漠石油公路防沙工程设计和未来公路养护提供科学依据, 综合野外观测及风洞模拟实验资料, 分析了塔里木沙漠石油公路风沙危害的形成, 建立了风沙危害程度的评判模式, 从而得出公路沿线的风沙危害具有如下时空分布规律: (1) 在时间上, 风沙危害主要集中于春、夏季节(4-9月), 其中4月份最强; (2) 在空间上, 愈向沙漠深入, 风沙危害愈烈. 风沙危害程度指数的理论估算值与风沙现象观测记录相吻合.

关键词 风沙危害, 时空分布规律, 塔里木沙漠石油公路.

素有“死亡之海”之喻的塔克拉玛干沙漠是世界第二大流动沙漠, 其85%的面积为流动沙丘所覆盖, 流动性堪称世界之冠. 千百年来, 塔克拉玛干沙漠以其独特严酷的自然环境及神奇色彩成为国内外探险家的圣地^[1]. 90年代以后, 大规模开发塔克拉玛干沙漠的油气资源被纳入我国国民经济建设的重大议事日程. 为了保证油气资源的高效开发, 修筑一条横贯沙漠的石油公路势在必行. 相应的研究工作相继展开. 摸清风沙危害的形成、危害程度的时空分布等一系列风沙危害问题是采取合理、有效防沙措施的关键, 因而是防沙治沙研究中首要解决的问题. 以往关于本区风沙问题的研究都局限于对整个沙漠的宏观论述^[2]和沙漠周边地区的探讨^[3], 无一涉及沙漠内部或对公路沿线进行有针对性的研究. 本文根据“八五”期间, “塔里木沙漠石油公路防沙治沙研究”专题组的野外实地观测和实验结果, 试图就塔里木沙漠石油公路风沙危害的形成条件进行分析, 总结出沿线风沙危害程度的时空分布规律, 以期对沙漠石油公路防沙工程设计及未来公路养护提供依据.

1 沙漠公路沿线环境背景

塔里木沙漠石油公路干线北起塔河北约35km的轮南小区, 南抵315国道, 全长约519km, 依次穿越现代塔里河冲积平原区、塔里

河古河道泛滥区, 简单新月形沙丘与沙丘链区, 复合穹状沙山区以及高大复合型纵向沙山区等地貌单元(图1). 石油公路于塔河南40.8km的肖塘始进入真正的流沙地带. 公路沿线地势南高北低, 海拔高度由塔河的940m左右向南依次上升至315国道的1400m多, 相对高差约360m. 沿线沙物质主要源于昆仑山前洪积、冲积物, 塔里木河流域冲积、洪积物等. 上述物质经风力吹蚀、搬运、再堆积等一系列改造过程形成了组建现代风沙地貌的风成沙. 公路沿线气候为典型的暖温带内陆荒漠气候. 年降水量少, 一般为40mm左右, 但变率大. 年蒸发量在3000mm以上, 为降水量的70多倍. 年平均气温11-13. 沙漠公路沿线植物资源缺乏, 可见植物仅19种, 集中分布于古河道、地下水埋藏较浅的沙山间洼地和覆盖薄层风沙的盐化沙土平地上. 土壤类型以非地带性的流动风沙土为主, 局部古河道地区有胡杨林土分布.

2 风沙危害的形成

风沙危害是风力作用下地面物质被侵蚀、搬运及再堆积过程的产物. 因此, 足以产生风沙运动的风力作用和承受风力作用的地面物质基础是风沙危害形成的2个必要条件. 除此之

* 国家“八五”重点科技攻关项目(85-101-97-92), 并获1996年国家科技进步奖一等奖
收稿日期: 1996-05-08

沙运动阻力包含的内容十分复杂,如沙面阻力、沙面渗透压力、颗粒形状阻力和颗粒摩擦阻力等,还可能有颗粒的减阻作用,因而通过风速梯度测量推算出的摩阻风速亦难以作为表征风力作用的物理量.实际上,尤其是在野外风沙活动的观测与研究中,一般很难进行力学观测,在应用中人们最关心的也只是多大的风速可以产生何等程度的风沙危害.有鉴于此,在目前有关风沙运动的力学机制尚不完全清楚的情况下,在本研究中试图避开复杂的力学概念,将风速作为描述风力作用的物理量,直接建立风沙危害程度——输沙强度与风速之间的关系.

2.1.2 输沙强度与风速的关系

本项研究中输沙强度与风速关系的建立是通过野外实地风沙观测来实现的.因为,到目前为止由于野外实际情况的复杂性尚没有一个理论模式能精确地计算输沙强度.但是,作为表征风沙危害程度的输沙强度又是制定合理防沙工程措施的主要依据.所以必须通过野外实地测定,然后进行统计分析,求出现场条件下输沙强度——输沙率,即单位时间内通过单位宽度的输沙量与风速的关系,进而计算实际输沙量.

笔者先后在肖塘附近和满参选择各种地形条件观测输沙率与2m高度1min.平均风速,经计算处理,求出其相互关系,作为计算输沙总量的依据.

观测结果表明,不同地表类型对风流场、从而也对输沙率有很大影响.如表1所示,在风速大体相同的情况下,不同性质的近地表输沙率仍有较大差别.总体说来,流动沙丘上较平地上输沙率大.同为沙丘,若敷设了草方格等则输沙率大为降低.在新月形沙丘纵断面上,由于风速往沙丘顶部渐次增大,相应地输沙率也往丘顶去增高.但是输沙率从迎风坡脚往沙丘顶部去增大的规律只在一定高度上成立,当沙丘高度超过一定限度后,这种规律即发生变化.造成这种结果的原因目前尚不清楚,有待于进一步观测分析研究.

虽然,在一定高度内,不同地表类型的输沙

率不同,但对同一类型的地表而言,风速就成为决定输沙率大小的关键因素.大量的观测与统计分析表明,在0-20cm高度内,输沙率同2m高处1min平均风速的关系为幂函数.

$$q = 0.07v^2 - 1.29 \quad r = 0.83 \quad (1)$$

式中 q 为输沙率($g \cdot cm^{-1} \cdot min^{-1}$), v 为风速(m/s).

表1 不同地面类型的输沙率比较(1992年观测)

观测日期 月-日	地面性质	风速 / $m \cdot s^{-1}$	输沙率/ $g \cdot cm^{-1} \cdot min^{-1}$
04-27	流动沙丘顶部	6.1	0.14
04-28	流动沙丘顶部	6.7	2.38
04-28	流动沙丘顶部	7.6	3.37
04-28	流动沙丘顶部	8.1	3.48
05-16	高大复合沙垅顶部	7.4	5.15
05-16	高大复合沙垅顶部	7.8	6.46
06-16	高大复合沙垅顶部	6.0	1.16
06-17	高大复合沙垅顶部	6.0	1.83
06-28	平坦流沙地	5.4	0.13
07-01	平坦流沙地	6.8	0.73
05-03	草方格沙垅顶	6.2	0.07
05-01	草方格小沙丘顶	7.4	0.0057
05-01	草方格平沙地	4.7	0.057

2.1.3 形成风沙危害的风力临界值——启动风速

大气边界层气流运动过程中施力于地面物质,当风力逐渐增大到一定临界值时,沙粒便获得足够的动量而摆脱静止状态开始运动.这个使沙粒开始运动的最小风速称作启动风速,是形成风沙危害的必要临界条件,只有在大于启动风速的风力作用下才会有风沙危害形成.

虽然学者们提出了若干计算启动风速的理论公式,但由于他们研究时所采用的边界条件互不相同,各地沙漠条件又彼此各异.因此,各地启动风速的确定必须建立在实地观测的基础上.

(1) 启动风速的观测 沙粒启动风速的观测在肖塘气象站西北侧平坦的冲淤粘土质平地上进行.各粒级沙粒的流体启动风速观测结果见表2.可以看出,公路沿线各粒级沙粒的启动风速大致相同,其瞬时启动风速都在6.0m/s左右(2m高度),天然混合沙粒的瞬时流体启

动风速亦为 6.0m/s.

表 2 沙粒瞬时流体启动风速测定值/ $m \cdot s^{-1}$

沙粒粒径/mm	风速仪风杯高度/cm	
	200	50
0.063- 0.125	6.0	5.6
0.125- 0.25	6.0	5.5
0.25- 0.5	6.1	5.3
混合沙	6.0	5.3

冲击启动风速是在上风向有沙源供应的条件下测定的. 结果表明, 2m 高度上的瞬时冲击

启动风速为 4.8- 5.3m/s, 平均为 5.0m/s.

(2) 启动风速的换算 测定启动风速的目的是根据测定结果利用气象站资料来估算风沙危害程度. 气象站风速观测的是 11.4m 高度上的 10min 平均风速, 而启动风速的测定值为 2.0m 高度上的瞬时风速, 二者存在时距与高度上的差异, 需经过一定的换算统一高度与时距. 笔者在没有可利用的时距与高度换算公式为条件下, 通过野外现场观测、统计相关分析建立了不同时距与高度风速的换算关系(表 3).

表 3 启动风速的时距与高度换算关系

换算高度或时距	换算关系	相关系数
2m 高度 1min 平均风速与瞬时风速	$v_{1min} = 0.023 + 0.86v_{瞬时}$	0.97
2m 高度 10min 平均风速与瞬时风速	$v_{10min} = 1.03v_{瞬时} - 0.45$	0.99
11.4m 高度 10min 平均风速与瞬时风速	$v_{10min} = 7.51v_{瞬时} - 6.72$	0.95
11.4m 高度与 2m 高度瞬时风速	$v_{11.4} = 0.63 + 1.2v_2$	0.99
11.4m 与 2m 高度 10min 平均风速	$v_{11.4} = 1.87 + 1.35v_2^2$	0.98

根据实测结果及表 3 中的换算关系得出, 塔里木沙漠石油公路风沙危害形成的动力临界值相当于 11.4m 高度 10min 平均风速 7.8m/s (流动启动风速) 或 6.0m/s (冲击启动风速).

2.2 风沙危害形成的物质基础——地面物质的粒度特征

以从肖塘附近采集的原状沙丘沙在风洞进行的模拟实验结果表明, 在诸粒度参数中, 沙粒的粒径对风沙危害的形成起着决定性作用. 不同粒径范围的沙粒形成风沙危害的难易程度各异, 其中 0.063- 0.40mm 间的沙粒最易形成风沙危害.

塔里木沙漠石油公路沿线的沙粒粒径几乎全部集中在粒径 0.5- 0.063mm, 且 85% 以上为细沙和极细沙(0.25- 0.063mm)(表 4). 由表 4 可知, 公路沿线原沙粒基本上都属于极易形成风沙危害的粒径范围, 而且在各地貌单元之间粒径的差异较小.

2.3 沙层含水率对风沙活动的影响

当沙层中有水分存在的条件下, 沙粒外层被一层水膜包围, 水离子链相互牵引增大了沙粒间的内聚力. 因此, 沙层中的水分可以减弱风沙危害. 塔里木沙漠石油公路沿线含水率<

1% 的干沙层的厚度经常达 20- 60cm, 成为形成风沙危害的有利条件. 但沙层含水率受降水的影响十分明显, 少量降水引起沙层含水率的增加可以迅速减弱风沙危害, 虽然沙层水分的存在只是暂时性的.

对不同含水率之风沙土风沙运动强度的风洞模拟实验研究表明, 输沙强度与沙层含水率的平方成反比, 有关系式(2)存在.

$$q \propto (v/M^2) \quad (2)$$

其中 q 为输沙率, v 为实际作用风速, M 为沙层含水率.

3 风沙危害的时空分布

3.1 风沙危害程度评价模型

风沙危害时空分布规律的探讨是建立在风沙危害程度的定量评价基础上, 因而评价模型的建立是首要解决的问题. 针对塔里木沙漠石油公路沿线的风沙危害系统特征, 选取了风速(v)及沙层含水率(M)来评价风沙危害. 根据笔者的实验研究, 野外观测及总结前人的一些研究成果, 上述 3 个变量具有如下特征: ①风沙危害程度与风速的平方成正比; ②风沙危害程度与沙层含水率的平方成反比. 但实际上沙层

表 4 塔里木沙漠石油公路沿线沙粒颗粒组成

地貌单元	地质地貌部位	序号	粒度参数 ϕ					颗粒级配/mm							峰型
			Md	δ	SK	KG	SO	> 2	2- 1	1- 0.5	0.5- 0.25	0.25- 0.125	0.125- 0.063	< 0.063	
塔里木河故道平原横向复合型沙垅区	流动沙丘	01	3.08	0.6533	- 0.066	0.6664	1.4897				0.20	46.80	53.00		
		02	3.09	0.6639	- 0.112	0.6455	1.5064			0.004	0.076	50.11	46.61	3.20	2
		03	3.10	0.6458	- 0.157	0.7459	1.4098				0.10	46.45	53.45		2
	淤积平原	淤积层	04	3.88	0.6654	0.1617	0.6489	1.5226				3.97	67.17	28.86	1
			05	4.45	0.4625	- 0.309	1.0404	1.2520				0.15	12.25	87.30	1
		下伏沙层	06	3.99	0.6669	- 0.035	0.6523	1.5222			0.03	2.03	56.38	41.56	1
			07	3.27	0.5471	- 0.027	1.0427	1.2649			0.13	24.23	75.63		2
			08	3.10	0.6605	- 0.034	0.7957	1.4271			0.20	43.28	50.75	5.77	2
			09	3.47	0.6181	- 0.028	1.3788	1.2782			0.08	16.77	69.38	13.77	2
复合型弯状沙山区	流动沙丘	10	3.06	0.6127	- 0.114	0.7377	1.4142			0.30	45.19	54.53		2	
		11	2.69	0.5136	0.2296	1.0994	1.2451			0.07	79.17	20.76		1	
		12	3.40	0.4414	- 0.171	1.0997	1.2247			0.07	15.66	84.26		1	
	沙山间平沙地	13	2.64	1.2146	- 0.207	1.3968	1.6110		6.80	9.57	0.50	6.04	68.07	0.02	3
		14	3.78	0.7070	0.0730	0.9402	1.4280				9.70	55.15	35.15	1	
	复合型纵向沙垅山区	流动沙丘	15	3.41	0.4430	- 0.185	1.1253	1.2195			0.13	15.60	84.27		1
			16	3.21	0.6250	0.2592	0.9221	1.3540		0.17	2.58	27.11	65.46	4.68	1
		粗砂平地(取地面- 10cm)	17	3.45	0.4509	- 0.184	1.0510	1.2412			0.01	14.55	80.36	5.08	1
			18	2.36	1.4191	- 0.344	1.2675	1.8769	0.01	6.28	19.04	3.23	10.36	50.58	10.50
19			2.57	1.4571	- 0.370	1.5270	1.6015	0.51	11.89	3.61	1.99	31.57	41.67	8.76	3
20			2.49	1.7571	- 0.551	0.9551	2.2048	0.13	13.95	10.65	0.57	9.58	50.99	14.13	3
淤积层	21	3.92	0.6414	0.0626	0.7448	1.4371			0.005	0.355	3.29	53.08	43.27	2	
	22	4.45	0.4123	- 0.221	1.1384	1.2031				0.30	0.45	10.05	89.20	1	
	23	3.29	0.5702	- 0.299	1.0539	1.2773			0.10	0.17	23.86	70.86	5.01	3	

含水率长期观测资料是不易获得的。因此在建立风沙危害评价模型时,用可以反映沙层表层含水率的空气相对湿度。因为,从理论上讲,大气中的水分来自于地表的水分蒸发,因而空气相对湿度的大小可以反映沙层含水率的相对多寡。野外实测表明,沙层含水率与空气相对湿度的4次方成正比。由此可以推论,风沙危害与空气相对湿度的- 8次方成正比。

综上所述,笔者建立了如下风沙危害评价

模型:

$$S = \frac{v^2}{H^8} \quad (3)$$

其中, S 为风沙危害程度; v 为平均风速, H 为空气相对湿度。

模型(3)中各变量的值均来自长期定位气象观测和野外实地调查(表5)。以肖塘和满参分别作为沙漠边缘和腹地的2个代表点进行评价。

表 5 肖塘、满参的模型变量值

地点		月 份												全年
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
肖塘	平均风速/ $m \cdot s$	1.4	1.9	2.2	3.1	3.3	3.4	3.6	3.2	3.0	2.2	1.9	1.6	2.6
	空气相对湿度/%	74	55	47	24	33	39	36	36	36	47	50	58	45
满参	平均风速/ $m \cdot s$	1.1	1.6	2.7	2.8	2.8	3.6	3.7	3.2	2.5	1.9	1.6	1.4	2.4
	空气相对湿度/%	68	49	35	22	30	33	32	32	29	36	45	55	39

3.2 时空分布规律

图 3 为肖塘、满参 2 地的风沙危害程度指数。可知, 2 地风沙危害的年内分布规律是一致的, 都表现出, 春夏季风沙危害较强, 尤以 4、5 月份最强。秋冬季风沙危害较弱, 尤以 12、1 月份最弱。年内各月的风沙危害指数均表现出满参较肖塘高的规律。若考虑植被的影响, 肖塘附近古河道中胡杨林及一些灌丛的存在则会使风沙危害更有所减弱。

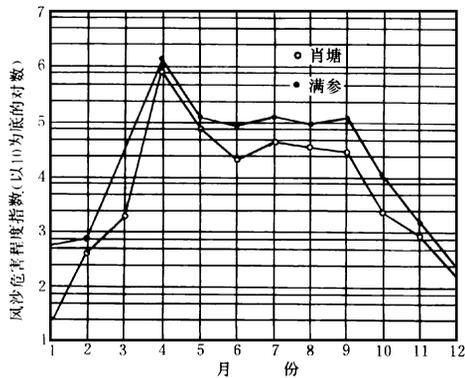


图 3 肖塘、满参的风沙危害程度指数

若将扬沙、沙尘暴和浮尘视为风沙危害的直观现象, 则上述风沙危害程度指数的理论计算值与风沙灾害现象的观测结果是基本一致的 (图 4)。

从风沙危害程度指数的上述分布特征可以看出塔里木沙漠石油公路的风沙危害具有如下区域分异规律。

- (1) 愈深入沙漠腹地风沙危害愈烈。
- (2) 沙漠公路风沙危害可划分出 3 大程度

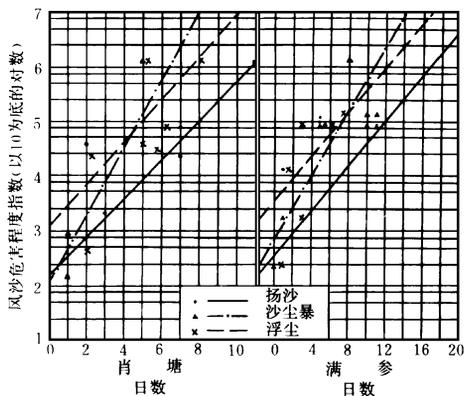


图 4 风沙危害程度指数与扬沙、沙尘暴及浮尘日数的关系

类型区: ①现代塔河冲积平原区。约在肖塘以北, 总长 70km 多, 胡杨林及灌丛分布较密集, 这一段为轻度沙害区。②塔里木河古泛滥平原埋藏区为中度沙害区, 肖塘至满参北即穹状复合沙山区的分界, 长约 75km 多, 地貌类型为新月形丘或沙丘链, 间有古河道及胡杨、灌木林分布带。③其余的高大复合型沙山及穹状沙山区均属强度风沙危害区。这寓意着愈向沙漠腹地防沙任务愈艰巨。

参 考 文 献

- 1 黄文弼. 塔里木盆地考察记. 北京: 科学出版社, 1958
- 2 朱震达, 陈治平, 吴正等. 塔克拉玛干风沙地貌研究. 北京: 科学出版社, 1981
- 3 李保生. 塔克拉玛干沙漠及其以南风成相带划分和认识. 地质学报, 1995, 69(1): 78
- 4 拜格诺·R·A, 钱宁, 林秉南译. 风沙和荒漠沙丘物理学. 北京: 科学出版社, 1959

The Effect of 2-Nitrofluorene Exposure on Gill Structure of the Grass Carp. Yu Gang and Xu Xiaobai (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(1), 1997, pp. 1-3

Nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons are a class of important pollutants with direct-acting mutagenicities and carcinogenicities. 2-nitrofluorene is a representative compound of nitro-PAHs. This paper reported the effect of 2-nitrofluorene exposure on gill structure of the grass carp. After 2, 4, 10 days of exposure, gill of fish was examined under electron microscope. The most severe gill lesions included the hypertrophy and increased number of chloride cells. This type of structure damage shows a dose similarity to those caused by other pollutants, such as lindan.

Key words: 2-nitrofluorene, grass carp, gill, toxic effect.

The Blown Sand Disaster Along Tarim Desert Oil-Transportation Highway. Dong Zhibao, Chen Guangting et al. (Institute of Desert Research, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(1), 1997, pp. 4-9

By means of field observation and laboratory experiment, the generation of the blown sand disaster along Tarim desert oil-transportation highway was analysed, the extent assessment model was established. Finally the conclusions reached are: (1) In the temporal distribution, the disaster is mainly concentrated on spring and summer (April-September), the most severe is in April. (2) In the spatial distribution, the disaster is more intensive into the desert. (3) Extent zones are outlined according to the theoretically estimated values of blown sand disaster extent, which fit well in the blown sand disaster phenomena observed and recorded.

Key words: blown sand disaster, tempo-spatial distribution, Tarim desert oil-transportation highway.

Study on Degradation of Phenolic Compounds by *Candida maltosa*. Yin Ping, Yang Yanxi and Yang Huifang (Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(1), 1997, pp. 10-13

Degradation of 15 kinds of phenolic compounds by *Candida maltosa* 10-4 was studied. This yeast can utilize dihydric phenol and trihydric phenol as sole carbon source for growth. Three kinds of dihydric phenol (300 mg/L) can be degraded 97% - 99% in 48 hours. Nitrophenol, aminophenol and cresol can not be used as sole carbon source, but nitrophenol and aminophenol can be used as nitrogen source for growth. With glucose as carbon source and (NH₃)₂SO₄ as nitrogen source, the growth and degradation activity can be

promoted obviously. Removal of mononitrophenol (300 mg/L) can reach 93% - 100%, 2-or 4-cresol 86% and monoaminophenol 68% - 84%. With substituting groups increase, degradation of phenolic compounds become slower. Cells adapted by 1200 mg/L of phenol can oxidate high concentration (2800 mg/L) of phenol and 15 kinds of phenolic compounds (300 mg/L) to different degree.

Key words: phenolic compound, *Candida maltosa*, degradation.

Nitrogen Content Dynamic Variation Analysis in the Second Songhua River. Liu Jingshuang, Yu Junbao et al. (Changchun Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(1), 1997, pp. 14-16

Space-time variation law of nitrogen content in different river sections, water periods and years in the second Songhua River were described in detail. The results showed that there are direct relation between nitrogen content variation in water and nitrogen in waste water to come from cities and runoff water of both banks of the river. Nitrate and nitrite contents in water in flood period are higher than that of mid and low water periods. In flood period, nitrate content in water increases gradually with extension of river section, ammonia content in polluted river section is higher than that of unpolluted river section. Nitrate and nitrite contents in water in three water periods from 1985 to 1989 are slightly higher than that from 1980 to 1984 and from 1990 to 1994, ammonia content in water increased annually.

Key words: nitrogen content, space-time variation law, the Second Songhua River.

A Research on Technology for Recovery Resource from High Concentration J-Acid Waste Liquors. Li Zhonghe, Zhu Wanpeng et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(1), 1997, pp. 17-19

J-acid waste liquors is a high concentration organic waste water. In this research N₂₃₅ was used as extractant to extract useful substance from the J-acid waste liquors. The tests indicated that more than 95% of COD_{Cr} in J-acid waste liquor can be removed and COD_{Cr} in the remained liquors can be dropped to 500-2000 mg/L. 95% of colourity can be removed from the waste liquors. By back-extraction tests, extracted organic from waste liquors can be concentrated 5 to 10 times. In the process the extractant could be recycled for that its properties don't vary and it's lost is little. By recovery tests, the concentrated solution could be back to the appropriate section of the producing process directly to recovery useful substance, which will have no detrimental effects on the comprehensive in-