

黄河黑山峡大柳树坝址区软弱层带渗透变形分析

曹东盛¹, 韩文峰², 李树德¹

(1. 北京大学环境学院, 北京 100871; 2. 天津城市建设学院, 天津 300384)

摘 要: 黄河黑山峡大柳树松动岩体中含有大量的软弱层带, 这些软弱层带在很大程度上控制了松动岩体的物理、力学性质, 而且软弱层带在未来的高水位情况下可能发生的渗透变形与破坏更是直接威胁大坝的安全和正常的使用。详细分析了大柳树坝址区软弱层带发生渗透变形的条件, 明确提出了管涌是发生渗透变形与破坏的主要形式, 以引起有关方面的重视。

关键词: 松动岩体; 软弱层带; 渗透变形; 管涌

中图分类号: P542

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003) 03-0021-05

Analysis of Weak Intercalations' Seepage Deformation of
Dam Site at Daliushu in Heishanxia Gorge on the Yellow River

CAO Dong-sheng¹, HAN Wen-feng², LI Shu-de¹

(1. College of Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Tianjin Urban Construction Institute, Tianjin 300384, China)

Abstract: The dynam-relaxed rockmass at Daliushu in Heishanxia Gorge on the Yellow River contains a great quantity of weak intercalations, which control the dynam-relaxed rockmass' physical and mechanical properties to a great extent. Moreover, in the high water level condition in the future, the possible seepage deformation and failure will directly threaten dam's safety and its normal operation. The authors analyze in detail the seepage deformation conditions of weak intercalations in dam site at Daliushu, and definitely put forward that piping is the main form of seepage deformation and failure in order to draw the related organizations' attention.

Key words: dynam-relaxed rockmass; weak intercalations; seepage deformation; piping

地下水在软弱层带中的渗流会产生渗透力(或称动水压力), 此力达到一定程度时, 土中的某些颗粒就会被渗透水流带走, 形成潜蚀。潜蚀可以使软弱层带的结构变松, 强度降低, 称为渗透变形。强烈的渗透变形又会发展成为管涌, 对大坝及斜坡的稳定造成极大的危险。岩体的渗透变形具有时效性, 地下水对岩体的作用起初表现并不明显, 随着时间的增长, 地下水对岩体的渗透作用表现明显。一是对软弱结构面的物理化学作用; 二是地下水通过力学作用, 对岩体的裂隙产生扩展作用。

本文通过对黄河黑山峡大柳树松动岩体中的软弱层带的研究, 分析了影响其产生渗透变形的条件包括水流的动力条件、软弱层带物质的结构、颗粒组成、侵蚀条件以及渗流的出口条件等等, 然后在综合分析这些条件的基础上对其产生渗透变形的可能性得出了合理的判断。

1 渗透变形的水动力条件

地下水在岩体中的渗流会产生静水压力和动水压力。静水压力具有使岩体裂隙发生扩展的劈裂作用, 使裂隙宽度增大。静水压力的大小可按下式计算:

$$P_{静} = \gamma_w (H - Z) \tag{1}$$

式中: $P_{静}$ ——静水压力(MPa); γ_w ——水的容重($9.8 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{s}^2$); H ——地下水水头(m); Z ——位置高程(m)。

动水压力是指在地下水水头差的作用下, 地下水沿岩体裂隙运动产生阻力, 为克服阻力而产生的对裂隙壁及裂隙内充填物质的作用力, 单位体积岩体沿流线方向所受动水压力可按下式计算:

$$P_{动} = \gamma_w J \tag{2}$$

式中: $P_{动}$ ——动水压力; J ——水力坡降。

¹ 收稿日期: 2003-04-25

基金项目: 地震科学联合基金资助项目(198089)。

作者简介: 曹东盛(1975-), 男, 北京大学环境学院博士研究生, 现从事工程地质以及城市规划方面的研究。

动水压力的量纲为 $\text{ML}^{-2}\text{T}^{-2}$, 而静水压力的量纲为 $\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$, 在实际应用时要注意量纲的统一。

岩体在动水压力作用下, 容易引起结构面的剪切变形或位移, 若裂隙中充填大量充填物时, 动水压力还可能引起机械管涌现象。对大柳树松动岩体软弱层带中的动水压力, 可采用断面法计算(图 1)。

当地下水由 1 断面流向 2 断面时, 其水头差为:

$$H_1 - H_2 = (Z_1 - Z_2) + (P_1 - P_2) / \gamma_w$$

于是, 作用在断面 1 与断面 2 之间岩体所受的动水压力为:

$$P_{\text{动}} = - \Delta P = - \gamma_w (\Delta H - \Delta Z) \tag{3}$$

特殊情况, 当隔水层底板水平, 即 $Z_1 = Z_2$ 时,

$$P_{\text{动}} = - \gamma_w \Delta H \tag{4}$$

大柳树高坝蓄水后上下游水头差将近 140 m, 代入 4 式, 可得软弱层带中动水压力的极大值为 1.4 Mpa, 实际情况中软弱层带都有一定的倾角, 其所处位置变化也很大, 故其动水压力值大多要远小于 1.4 Mpa, 但是由于大柳树松动岩体中存在相当多的缓倾角断层, 并不排除特殊情况下某些

软弱层带中的动水压力值接近上述极大值。

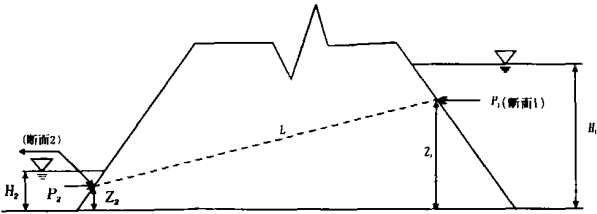


图 1 断面法计算动水压力简图

2 软弱层带结构及颗度成分

大柳树坝址软弱层带发育的频率高, 规模大, 主要表现为断层和层间挤压带, 坝址右岸软弱层带发育情况见表 1, 由表 1 可知, 软弱层带在水平方向上线发育频率为 2% ~ 16%, 可见其发育频率之高。大柳树坝址岩体的又一特征是缓倾角断层比较发育, 有过半数的平硐都揭露到了缓倾角结构面。

表 1 大柳树右岸软弱层带发育情况

硐号	硐深/ m	断层条数	断层总厚度	层间挤压带条数	挤压带总厚度	夹层总厚度	夹层线频度
			/ cm		/ cm		/ %
304	67.0	16	287	10	363	650	9.7
306	79.7	8	175			175	2.2
308	271	22	367	11	2022	2389	8.8
310	44.2	4	88	2	121	209	4.7
312	304.7	8	447	8	1454	1901	6.2
314	83.7	7	742	21	1045	1787	21.35
316	51.0	7	312	5	150	462	9.1
318	83.6	6	840	1	20	860	10.3
320	84.5	14	695	20	666	1362	16.1
326	104.7	17	1080	10	480	1560	14.9
328	99.8	8	862			862	8.64
330	108.0	11	268			268	2.5
332(支)	150			5	2480	2480	16.5
334	101.8	26	766	2	82	848	8.3
336	48.9	11	648			648	13.3
338	101.8	14	750	3	75	825	8.1
346	711.75	289	3539.5	82	3542	7081.5	9.95
360	1229	320	4227	96	2184	6411	5.2

松动岩体中的断层带以碎块、角砾为主, 断层泥含量很少, 且分布不连续; 层间挤压带以千枚岩、板岩为主, 碎块、角砾次之, 断层泥含量少, 呈蜂窝状分布。由于次生张裂的原因, 其充填物结构松散, 局部结构面张开程度很大, 甚至有架空结构的存在, 细小颗粒可以在孔隙中畅通无阻, 这些条件都非常有利于潜蚀的发生。

软弱层带物质颗粒成分对产生渗透变形难易的影响主要表现在以下两个方面:

(1) 粗大颗粒所占的比例。只有较多的粗大颗粒构成骨架, 才能形成直径较大的孔隙, 才易于潜蚀的发生。如细颗粒达到一定含量致使粗颗粒间不能相互接触, 不能由它们构成骨架, 则孔隙大小取决于细颗粒, 所以就比较难于潜蚀。有关资料表明当细颗粒含量小于 20% 时更易于形成潜蚀。一旦

潜蚀发生, 细小颗粒被带出后孔隙愈通畅, 就更易形成集中水流, 机械潜蚀转化为管涌所需的水力梯度就会大大降低。

(2) 粗细颗粒粒径之比对潜蚀的发生具有很重要的意义。伊斯妥明娜法是根据土体的不均匀系数 C_u 来作为判断土体渗透变形的指标, 即当不均匀系数 C_u 为:

$C_u < 10$

流土

$C_u > 20$

管涌

$10 < C_u < 20$

流土或管涌

5

巴特拉雪夫的研究证明, 土体细颗粒 d 与土体平均孔径直径 d_0 之比如满足下式

$$d_0 / d \leq 1.8 \tag{6}$$

则该土体将是非管涌土, 而若满足下式

$$d_0 / d > 1.8 \tag{7}$$

则该土体将是管涌土。

根据实践, 巴特拉雪夫提出用下式计算 d_0

$$d_0 = 0.026(1 + 0.15Cu) \sqrt{\frac{K}{n}} \quad (8)$$

式中: K ——渗透系数(m/s); n ——土体的孔隙率。

大柳树坝址岩体软弱层带颗粒级配见表 2。

由表 2 可以看出, 大柳树松动岩体软弱层带的颗粒组成变化较大, 但大体以角砾为主, 细颗粒的含量大多小于 20%, 从结构上讲, 大多属于易发生潜蚀类型的土体。颗粒的不均匀系数变化也很大(5.0 ~ 158.3), 绝大多数大于 20, 根

据 5 式亦可判断为管涌土。对于巴特拉雪夫计算式, 渗透系数 K 取 10^{-5} m/s 级(根据已有资料), 即 $K = 1 \times 10^{-5}$ m/s, 土体孔隙率 n 取以前资料中 19 组原状断层泥样的平均孔隙率 $n = 0.280$ (见参考文献 1), 不均匀系数取表 2 中所列的平均值 $Cu = 45.3$, 根据 8 式计算得 $d_0 = 1.21$ mm, 细颗粒 d 取 0.25 mm, 可得 d_0/d 远大于 1.8, 根据 7 式, 也可判定为管涌土。

综上所述, 大柳树软弱层带就其土体结构及颗粒组成方面来讲, 为管涌类型土。

表 2 大柳树坝址岩体软弱层带断层泥颗粒级配

取样位置			各粒级含量/ %				不均匀系数	备 注
硇号	硇深/ m	样深/ cm	> 2 mm	2 ~ 0.05 mm	0.05 ~ 0.005 mm	< 0.005 mm	d_{60}/d_{10}	
311			42.0	40.5	9.5	8.0	120.0	角砾
319	106.7		32.0	33.0	32.0	3.0	22.2	
303	15		23.5	39.8	20.1	16.6	142.5	角砾
307	76.7	4 ~ 5	24.5	65.5	8.0	1.9	14.7	样液黑, 煮时有味
	76.7		75.4	17.6	4.6	2.2		角砾
	53	3 ~ 4	71.0	17.0	12.0	0	158.3	角砾
			36.0	31.0	29.5	3.5	36.7	
			65.0	19.5	15.3	0		角砾
320	67	0 ~ 20	38.0	43.9	3.9	14.0	84.4	角砾
324	70	0 ~ 15	37.5	54.2	6.8	1.4	16.2	
	70	15 ~ 25	45.2	33.7	18.0	3.1	62.2	角砾
332	50	0 ~ 10	11.5	76.6	7.2	4.6	10.7	煮时有氨味, 角砾
	25	3 ~ 25	64.0	30.2	3.8	2.0	18.2	角砾
326	53	30 ~ 50	15.0	66.4	9.0	9.5	30.3	
306	117		5.3	71.2	13.9	9.6	34.6	三轴渗透样
			15.9	68.1	6.5	9.5	18.3	
	118	15 ~ 35	22.3	65.3	6.0	6.2	16.2	煮时冒烟
308			0.6	70.4	19.0	9.5	45.0	
	53		20.8	65.3	12.9	1.0	24.3	
	271.3		61.0	33.6	2.6	2.6	23.3	角砾
	200	0 ~ 15	39.5	51.0	3.0	6.1	12.9	
			43.0	46.1	5.1	5.5	14.9	角砾
346	288		5.9	51.1	41.5	1.5	5.0	
	450		10.5	49.5	38.0	2.0	6.82	
	660		29.0	50.0	18.0	3.0	17.58	
360	485		4.3	57.7	26.0	12.0	15.26	
	665		37.1	53.9	7.5	1.5	27.27	
	915		39.4	48.6	11.0	1.0	28.89	

3 渗流的出口条件

对于渗流出口溯源发展管涌型渗透变形, 渗流出口处如无适当保护, 对渗流变形的产生和发展有很重要的意义。当出口处直接临空, 且此处的水力坡度比整个渗流路径上的平均坡度大时, 水流方向也有利于土的松动和悬浮, 因此这种渗流出口条件最易产生渗透变形。大柳树高坝蓄水后, 水流的渗流方式包括坝基渗流、绕坝渗流以及邻谷渗流, 这几种渗流的出口处均有可能直接临空, 特别是右岸马长梁整体为一强透水岩体, 其中的软弱层带十分发育, 水流的入渗及排泄条件都很好, 这就大大增加了管涌发生的可能性。

4 软弱层带渗透变形临界条件分析

由上面的论述我们可以看出, 大柳树松动岩体软弱层带属易于发生管涌类型土, 因此下面就管涌发生的临界条件作一些分析。

4.1 管涌临界坡降的计算

计算管涌临界坡降的公式, 迄今还不太成熟, 这主要是: 一方面发生管涌的渗流机理, 理论上还没有很好解决; 另一方面试验数据也甚难测准, 而且对管涌发生的鉴别, 也缺乏一个明确的标准。尽管如此, 得出一个数据供设计之用还是需要的。

南京水科院在总结国内外试验研究的基础上, 应用对求得作用在单个颗粒上的渗透力与颗粒在水中自重相平衡的

原理,得到了发生管涌的临界坡降计算公式为:

$$J_{cr} = (\frac{Y_s}{Y_w} - 1)(1 - n)\alpha \frac{d}{d_{3k}} \quad (9)$$

式中: α ——表示颗粒的形状系数,亦即任意形状的天然土颗粒与等体积球形颗粒,两者的表面积之比值,由于球表面积总是小于同体积不规则形状颗粒,故形状系数 α 恒大于 1.0,根据各家试验资料, α 值列于表 3;

表 3 形状系数 α 值

颗粒名称	球粒	河砂	海砂	锐角石英砂	颗粒杂乱
α	1.0	1.17	1.16 ~ 1.17	1.50 ~ 1.67	1.70 ~ 1.87

根据明滋阻力系数和雷诺数之间的关系, 10 式又可以写成下面的形式:

$$d_{3k} = \frac{26A v K (1 - n)^2}{g n^3} \quad (11)$$

式中: A ——层流阻力系数, $A = 5.1$; v ——水的黏滞系数;其他符号意义同前。

再将 11 式中的 d_{3k} 代入 10 式,并采用一些常用数据, $Y_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$, $Y_w = 1 \text{ g/cm}^3$, $g = 9.81 \text{ cm/s}^2$, $v = 0.0116 \text{ cm}^2/\text{s}$, $\alpha = 1.165$ 等代入,经过一些演算,最后得到

表 4 各种土允许水力坡降

土的类别	密实黏土	粗砂、砾石	轻亚黏土	中砂	细砂
允许水力坡降	0.5 ~ 0.4	0.3 ~ 0.25	0.25 ~ 0.2	0.2 ~ 0.15	0.1 ~ 0.12

由 13 式的结果与表 4 中数据进行对比,大柳树软弱层带的允许坡降相当于轻亚黏土、中砂,但由于影响 J_{cr} 大小的因素中,渗透系数 K 、管涌时流失的粒径 d 、土体的孔隙率 n 在不同的软弱层带中各不相同,故有可能其临界水力坡降相当于粗砂、砾石以及细砂的允许水力坡降,即 J_{cr} 的变化范围为 0.1 ~ 0.3 之间。大柳树大坝右岸坝后陈水沟至黄河的渗流坡降高达 0.16 ~ 0.13,松动岩体作为渗流介质具有很大的不均匀性,局部地段产生 0.16 以上的渗流坡降是可能的,所以渗透破坏发生的可能性很大。

4.2 室内管涌试验

为了模拟软弱层带渗透变形发生的水动力条件,我们选做了土样的室内管涌模拟试验。试验土样共两个,一个为 319 硐上游壁 85 m 处样,另一为 329 硐下游壁 40 m 样,均为次生张裂带物质,以角砾、碎块为主,结构较为松散。试验仪器仍采用气压式渗压仪,试样环刀底面积 30 cm²,高 2 cm,局部破损处用橡皮泥填补。试验过程中,试样下部铺有透水石和滤纸,试样上部则没有设滤纸,透水石上打有 3 mm 孔径的小孔数个,以便土样渗透破坏后细颗粒可以从小孔中渗出。

对于 319 硐上游壁 85 m 样,先在真空泵中抽水饱和,然后再放入试样盒中,因试样饱水后有一定量的膨胀,故对其施加了 1 kg/cm² 的固结压力,等其固结稳定后(由千分表测得)卸去固结压力,然后对土样缓慢逐级施加渗透压力,观察出水情况,当渗透压加至 0.3 kg/cm² 时,出水出现浑浊,于是降低渗透压力,出水变清,打开试样盒观察土样,发现在土

d_{3k} ——等效粒径,亦即天然土体中各不同粒径 d_i 的土颗粒,化为具有同一粒径 d_{3k} 的土体而阻力不变,其值如下:

$$d_{3k} = 1 / \frac{P_i}{d_i} \quad (10)$$

P_i ——粒径为 d_i 时所对应的百分含量,可由颗粒分曲线上查得。

管涌临界坡降公式为:

$$J_{cr} = 42 \frac{d}{\sqrt{\frac{K}{n^3}}} \quad (12)$$

式中: d ——管涌时流失颗粒之粒径,一般取 d_3 计算(cm); K ——渗透系数(cm/s); n ——土体的孔隙率。

取 $d = 10^{-3} \text{ cm}$, $K = 1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, $n = 0.280$,代入 12 式,可得:

$$J_{cr} = 0.20 \quad (13)$$

据《专门工程地质学》,各种土的允许水力坡降见表 4。

样与环刀的接触处出现两个空洞,大小分别为 6 mm × 2 mm 和 1.5 mm × 12 mm。

对于 329 硐下游壁 40 m 样,则让土样在试样盒中渗水饱和,待其饱和后再施加 1 kg/cm² 的固结压力,保持固结压力不变,然后缓慢施加渗透压,观察出水情况。当渗透压增加到 0.7 kg/cm² 时,出水仍不见浑浊,渗透也比较缓慢,考虑到仪器管路的密封性能并不能承受太大的渗透压力,采用了降低固结压力的办法,即将土样的固结压力降为 0.1 kg/cm²,然后再缓慢施加渗透压力。当渗透压力加至 0.5 kg/cm² 时,出水出现浑浊,打开试样盒观察土样,发现在土样与环刀的接触处出现一空洞,大小为 4 mm × 6 mm。

本次室内模拟管涌发生的试验存在不少的缺陷,其一是试验仪器不便于直接观察到土样在渗透水流作用下的变化情况,只能通过出水判断土样是否发生了渗透破坏,这就存在准确性不够的问题;其二是土样选取的数量有限,同时试验时由于环刀限制而土样的体积有限,这就存在代表性不好的问题。尽管存在上述问题,本次试验仍取得了以下认识:

① 土样渗透破坏的临界水头与其所受的固结压力关系密切,即固结压力越大,其破坏的临界水头相应地就越大。大柳树松动岩体由于结构面张开,岩体架空现象十分显著,其软弱层带所受固结压力比正常固结岩体要小得多,这样在一个较小的水头下就有可能发生渗透破坏。

④即使在同样压力条件下,大柳树松动岩体软弱层带的临界水头也要比正常岩体小得多。上面两样分别在 0.3 kg/cm² 和 0.5 kg/cm² 的渗透压下就发生渗透破坏,说明其结

构要比一般正常固结岩体松散得多。如前面所述,大柳树软弱层带中的动水压力极大值高达 1.4 Mpa,这就决定了软弱层带渗透破坏的必然发生。

(四)室内管涌试验土样破坏的部位往往处于土样与环刀的接触处,这也预示着接触冲刷也可能是大柳树软弱层带渗透破坏的一种主要形式。

5 结 论

大柳树松动岩体中的软弱层带十分发育,对软弱层带中的千枚岩、板岩而言,其渗透性因其结构而呈现明显的各向异性,即顺层面渗透性强,而垂直层面则渗透性弱。对于颗粒较细的断层泥而言,其各个方向均显示出很小的透水性,但

参考文献:

[1] 韩文峰,等. 黄河黑山峡大柳树松动岩体工程地质研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993.
[2] 甘肃省黄河黑山峡工程领导小组办公室. 黄河黑山峡河段小观音和大柳树坝址工程地质简介[Z]. 2001. 5.
[3] 水利部天津水利水电勘测设计研究院勘察院. 黄河大柳树水利枢纽坝址水文地质勘察报告[R]. 2000. 5.
[4] 成都理工学院. 黄河黑山峡大柳树坝址区渗流分析报告[R]. 2002.
[5] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
[6] 仵彦卿,张倬元. 岩体水力学导论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1995.
[7] 苑莲菊,等. 工程渗流力学及应用[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2001.
[8] 崔冠英,潘品蒸. 水利工程地质[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
[9] 张蔚榛. 地下水与土壤水动力学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1996.

(上接第 20 页)

从各类裸露土地面积的季节变化来看,建筑工地和其他裸地的面积在冬、夏季之间差别很小,属于比较稳定的土地利用/覆盖类型。裸露农田的季节性变化非常大,冬季裸露农田的绝大部分在夏季转化成农田。此外,沙荒地的季节性变化也比较明显,表现为沙荒地面积冬季略多于夏季(表 3)。

5 分析与讨论

根据遥感和实地考察,北京平原地区确实存在着导致大气沙尘含量升高的源地,主要可以分为裸露农田、沙荒地、建筑工地和其它裸地四大类。如果综合考虑裸露土地性质和面积对于扬尘的潜在影响,裸露农田是造成北京冬、春季节沙尘污染的最重要的本地沙源;沙荒地对于局地扬沙天气形成的影响会非常显著,成为北京冬、春季节的主要本地沙源;季节性变化不明显的建筑工地和其他裸地是城近郊区和某些县(区)局部扬尘的重要原因。

针对北京平原地区沙源的分布特征和不同沙源的性质差异,我们认为,应建立北京城市森林体系,包括正在规划中

参考文献:

[1] 李令军,高庆生. 2000 年北京沙尘暴源地解析[J]. 环境科学研究, 2001, 14(2): 1– 3.
[2] 邱新法,等. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 316– 321.
[3] 宋锦熙. 北京地区沙物质的重矿物成分、结构特征与风沙的沙物质来源[J]. 中国沙漠, 1987, 7(1): 24– 31.
[4] 王涛,等. 中国北方沙尘暴现状及对策[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 322– 327.
[5] 陈广庭. 近 50 年北京沙尘天气及治理[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 402– 407.
[6] 景爱. 警报: 北京沙尘暴[M]. 北京: 人民出版社, 2001.

由于其在整个软弱层带中的含量很少,且多不连续,故起不到很好的阻水作用。次生张裂带物质则由于其结构松散、颗粒大小混杂,在各个方向的透水性均较强,也是软弱层带中最容易产生渗透变形的部分。在未来正常高水位时,软弱层带因饱水而发生软化、泥化现象,其力学性质将明显降低,与主渗流方向相一致的软弱层带,因其透水性强而容易产生机械冲刷、溶蚀等渗透破坏;与主渗流方向垂直的软弱层带则可能形成局部的高水头,也可能形成管涌等渗透破坏。由前面的论述可知,大柳树软弱层带主要为管涌类型土,且其发生管涌的临界坡降较小,因此发生管涌的可能性是很大的,所以一定要采取相应的措施加以处理。

的北京市第二道绿化隔离地区;沿永定河、潮白河下游河道两侧的沙荒地防护林带和农田保护林带;在南口山前、永定河三家店以下山前、密云古北口以下的密云水库山前等风口地区的防风林带;城近郊区的大片绿地建设。此外,应加强农田耕作制度的指导与管理,实行留茬少耕或免耕秸秆全程覆盖,尽可能加大冬、春季的耕地覆盖面积,减少季节性的裸露农田面积,为了增加这些地块春季的地面覆盖,应发展更多的越年生生长作物,如黑麦、燕麦等,也可以发展种植一些早春的作物和牧草。

遥感技术作为获取空间信息的有效手段,在目前技术水平下,研究的深度仍然受到遥感信息空间分辨率和时间分辨率的双重影响。本研究仅对北京地区本地沙源的空间分布和季节变化作了初步的估计,进一步的工作需要依靠更高分辨率的卫星遥感数据,从植被、土壤、大气、水体和土地利用等方面,对北京地区的生态环境开展连续性的长期监测。