

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.06.042

吉林四平地区玉米和大豆灌溉需水量分析

刘 钰¹, 谭军利¹, 李王成¹, 刘海军²

(1. 宁夏大学 土木与水利工程学院, 银川 750021; 2. 北京师范大学 水科学研究院, 北京 100875)

摘要: 采用联合国粮农组织(FAO)推荐的方法 Penman-Monteith 公式(PM 公式)和作物系数, 结合当地的气象资料, 研究了吉林四平地区玉米和大豆生育期内多年平均降水量与需水量的变化特征, 利用皮尔逊Ⅲ型分布曲线, 通过频率分析确定不同水文年份的有效降水量和需水量。结果表明: 四平地区玉米多年平均有效降水量、需水量和缺水值分别为 423.24 mm、503.73 mm、80.49 mm; 大豆多年平均有效降水量、需水量和缺水值分别为 442.62 mm、484.18 mm、41.56 mm。在丰水年($P=25%$)、平水年($P=50%$)和枯水年($P=75%$), 玉米生育期内平均有效降水量分别为 517.47 mm、425.60 mm、352.79 mm, 需水量分别为 504.88 mm、467.83 mm、506.29 mm; 大豆生育期内有效降水量分别为 540.23 mm、452.26 mm、371.42 mm, 需水量分别为 434.67 mm、498.80 mm、450.77 mm。因此在作物生长快速的生长期和开花结实期若能进行补充灌溉, 可显著保障粮食高产稳产。

关键词: 四平地区; 参考作物蒸散发; 需水量; 缺水值; 频率分析

中图分类号: S274.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)06-1225-04

Analysis of irrigation water requirement for maize and soybean in Siping region of Jilin Province

LIU Yu¹, TAN Junli¹, LI Wangcheng¹, LIU Haijun²

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Temporal distributions of precipitation and water requirements of maize and soybean during the growth period in Siping region were analyzed. Crop water requirement was computed using the Penman-Monteith equation (FAO 56 PM formula) and crop coefficients. Effective precipitation and water requirements (ET_c) for maize and soybean in different hydrological years were analyzed using the P-III distribution curve. Results showed that the average effective precipitation, water requirement (ET_c), and water deficit are 423.24, 503.73, and 80.49 mm respectively for maize, and 442.62, 484.18, and 41.56 mm respectively for soybean in Siping region. During the wet year ($P=25%$), normal year ($P=50%$), and dry year ($P=75%$), the effective precipitation is 517.47, 425.60, and 352.79 mm respectively, and the corresponding water requirement is 504.88, 467.83, and 506.29 mm respectively for maize; whereas the effective precipitation is 540.23, 452.26, and 371.42 mm respectively, and the corresponding water requirement is 434.67, 498.80, and 450.77 mm respectively for soybean. Supplementary irrigations at the fast development stage of maize and at the blossom and productive stage of soybean are important for maintaining high yields in Siping region.

Key words: Siping region; reference crop evapotranspiration; water requirement; water deficit; frequency analysis

我国粮食增产需求与农业供水短缺矛盾突出^[1]。缓解粮食增产需求与农业用水短缺的矛盾主要通过高效利用水资源来解决。吉林省地处松辽平原, 是我国重要的商品粮基地之一^[2]。2013年国民经济和社会发展统计公报显示, 吉林省玉米产量为2276万t, 占东北粮食产量的19.29%,

全国的3.77%。吉林省1981年-2010年大豆平均种植面积4479.9万 hm^2 , 总产93.89万t, 面积和总产分别占全国的5.30%和7.09%^[3]。科学的玉米和大豆的灌溉需水量、灌溉制度有助于吉林四平地区优化水资源管理措施的提出。作物需水量和灌溉需水量资料是进行农业水资源规划

收稿日期: 2015-03-15 修回日期: 2015-06-18 网络出版时间: 2015-09-08
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150908.0835.002.html>

基金项目: 水利部公益项目(201401036); 国家自然科学基金项目(51179005; 51479004)

作者简介: 刘钰(1991-), 女, 陕西富平人, 主要从事农业水资源高效利用方面研究。E-mail: liuyu098@163.com

通讯作者: 谭军利(1979-), 男, 湖南茶陵人, 副教授, 博士, 主要从事农业水资源高效利用研究。E-mail: tanjl@nxu.edu.cn

的重要依据。近年来,国内对玉米生育期内需水量的研究主要集中在基于多年气象资料分析作物需水量变化,或者基于气象资料预测未来气候变化对作物需水量的影响,而对于大豆生育期内需水量的研究鲜有报道。刘钰等^[4]对中国主要农作物的需水量和灌水量特征进行了研究,研究表明夏玉米全生育期需水量 300~400 mm,春玉米全生育期需水量为 500~600 mm;肖俊夫等^[5]研究了中国玉米需水量及需水规律,研究表明春玉米需水量变化在 400~700 mm 之间,夏玉米需水量变化在 350~400 mm 之间;亢振军等^[6]应用 CROPWAT 模型研究分析了辽西半干旱区玉米的需水量及灌水量,结果表明玉米生育期需水趋势呈正态分布,其灌溉需水量曲线因降雨差异在不同的年份呈抛物线型、中期平台型和双峰型 3 种;张建平等^[7]研究探讨了未来气候变化情景下东北三省玉米需水量的变化趋势。国内对作物需水量和灌溉需水量的研究多为多年平均统计结果,而不同水文年份的降水量与作物需水量的差异较大,因此有必要分析不同水文年份的作物需水量与灌溉用水量,为优化水资源管理提供更多基础数据。

本文根据联合国粮农组织(FAO)推荐的方法 Penman-Monteith 公式(PM 公式)^[8]和作物系数法^[9]计算玉米和大豆需水量;利用皮尔逊 θ 型分布曲线,通过频率分析确定不同水文年份的有效降水量和需水量,分析玉米和大豆生育期内的降水与需水分布特征,探究缺水的主要阶段,并提出适宜的灌溉水量。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

四平地区(124°15′ - 124°34′ E, 42°57′ - 43°13′ N)位于吉林省西南部,地处松辽平原腹地,属温带半湿润大陆性季风气候,多年降雨量为 570 mm,但是年际间差别较大,降水主要分布在每年的 6 月 - 8 月份,冻土层深度约为 1.3~1.7 m,近年来由于气温升高,冻土层深度减少为 1.3~1.4 m。地下水位一般在 10 m 左右,但是部分旱区已达 40~50 m。2012 年统计资料显示,全市粮食种植面积为 85.8 万 hm^2 ,占农作物总播种面积的 93.7%。其中玉米种植面积为 77.0 万 hm^2 ,大豆种植面积为 1.0 万 hm^2 ,分别占粮食作物面积的 89.8%, 1.2%。四平地区土地肥沃、日照充足、雨热同季、气候宜农,是东北三大粮仓之一,被国家列为重点商品粮生产基地和玉米出口基地^[10]。

本文所用的数据为四平气象站(国家气象台站编号 54157)1951 年 - 2014 年的气象数据,包括日平均气温、日最高气温、日最低气温、日降水量、日照时数、日平均风速、日平均相对湿度等气象资料。

1.2 作物需水量

作物的需水量采用 FAO56 推荐的公式计算:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (1)$$

式中: ET_c 为作物需水量(mm/d); K_c 为作物系数; ET_0 为参考作物需水量(mm/d)。

FAO 将参考作物需水量 ET_0 定义为:一定的气象条件下,作物生长旺盛无虫害,地表覆盖均匀,高度约 12 cm,土壤

水肥供给充足条件下的蒸散量。参考作物蒸散量采用 Penman-Monteith 公式计算:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{273 + T} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (2)$$

其中: ET_0 为参考作物蒸散发量(mm/d); R_n 为作物表面净辐射量($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$); G 为土壤热通量($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$),因为本研究中土壤热通量计算时间间隔为日,因此取 $G=0$; T 为 2 m 高度日平均气温($^{\circ}\text{C}$); u_2 为 2 m 高日平均风速(m/s); e_s 为 2 m 高度日平均饱和水汽压(kPa); e_a 为 2 m 高度日平均实际水汽压(kPa); $(e_s - e_a)$ 为饱和水汽压差(kPa); γ 为干湿比常数($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$); Δ 为温度-饱和水汽压曲线的斜率($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$)。

1.3 玉米和大豆生育期内有效降水量

根据当地的调研和气候资料,玉米一般在 4 月中旬播种,8 月中下旬收获,生长期约为 120~130 d;大豆在 4 月底至五月上旬播种,8 月中下旬收获,生长期约为 120~130 d。结合玉米和大豆播种时对温度的要求,以 4 月 16 日作为该研究区玉米的播种日期,8 月 23 日为玉米收获日期;5 月 1 日为大豆的播种日期,9 月 2 日为大豆收获日期。根据联合国粮农组织 FAO56 对作物生长阶段的划分,将玉米和大豆的生长阶段划分为苗期、快速生长期、开花结实期、成熟期。玉米和大豆各个生长阶段的日期见表 1。

表 1 四平地区玉米和大豆阶段划分

Tab. 1 Partition of growth stages of maize and soybean growth in Siping region

作物	苗期	生长期	开花结实期	成熟期	
玉米	日期	4-16-5-5	5-6-6-9	6-10-7-24	7-25-8-23
	天数	20	35	45	30
大豆	日期	5-1-5-20	5-21-6-14	6-15-8-9	8-10-9-2
	天数	20	25	55	25

玉米和大豆生育期内的降水量除了考虑播种一收获期的降水量外,同时将 4 月 6 日至 4 月 15 日、4 月 21 日至 4 月 30 日内的降水量作为玉米和大豆的前期雨量,以便充分利用降水量。

四平地区地势平坦,当日降水量不大时,一般不会产生地表径流,大都会储存在田间。本文将当日降水量小于 3 mm 日降水量不计入有效降水量^[11],当日降水量 3~50 mm 的日降水量作为有效降水量,当日降水量大于 50 mm 时,以日降水量的 0.8 倍作为有效降水量^[12]。

将历年玉米和大豆生育期内的有效降水量从大到小排列,计算经验频率;并采用皮尔逊 θ 型频率分布曲线计算出玉米和大豆生育期内有效降水量的理论频率曲线,据此分析不同水文年份(设计丰水年 $P=25\%$ 、平水年 $P=50\%$ 、枯水年 $P=75\%$)玉米和大豆的有效降水量。

2 结果与分析

2.1 玉米和大豆生育期内有效降水量分析

表 2 为四平地区 1951 年 - 2014 年玉米和大豆生育期多年平均有效降水量统计表。由表可知,四平地区多年平均降水量为 631.16 mm,其中玉米生育期内有效降水量为

465.01 mm, 占多年平均降水量的 73.7%, 开花结实期有效降水量最大, 为 179.4 mm, 占多年平均玉米全生育期有效降水量的 38.6%; 其次是成熟期和生长期, 多年平均有效降水量为 144.23 mm 和 67.20 mm, 分别占多年平均生育期内有效降水量的 31% 和 14.5%; 苗期多年平均有效降水量最少, 占生育期内有效降水量的 5.7%。大豆全生育期有效降水量为 484.19 mm, 占多年平均降水量的 76.7%, 开花结实期有效降水量最大, 为 244.96 mm, 占多年平均大豆全生育期有效降水量的 50.6%; 其次是成熟期和生长期, 多年平均有效降水量为 93.73 mm 和 63.52 mm, 分别占多年平均生育期内有效降水量的 19.4% 和 13.1%; 苗期多年平均有效降水量最少, 占生育期内有效降水量的 2.7%。

表 2 玉米和大豆生育期内有效降水量的多年平均统计

Tab. 2 Average annual effective rainfall for maize and soybean in the growth period

作物	年平均全生育		有效降水量				
	降水量 /mm	期降水量 /mm	前期雨量 /mm	苗期 /mm	生长期 /mm	开花结实期 /mm	成熟期 /mm
玉米	631.16	465.01	5.74	26.67	67.20	179.4	144.23
大豆		484.19	12.93	27.48	63.52	244.96	93.73

表 3 为玉米和大豆生育期内有效降水量的频率分析结果, 由表可知, 丰水年、平水年、枯水年玉米生育期内的有效降水量分别为 516.47 mm、358.76 mm、245.21 mm; 大豆生育期内的有效降水量分别为 562.08 mm、390.45 mm、266.86 mm。

表 3 四平地区玉米和大豆有效降水量的频率分析结果

Tab. 3 Frequency analysis results of average effective rainfall for maize and soybean in the growth period

作物	统计参数			枯水年 (P=75%)	平水年 (P=50%)	丰水年 (P=25%)
	均值	C_v	C_s/C_v			
玉米	438.0	0.29	1.7	347.65	427.64	517.11
大豆	463.2	0.27	2.3	373.30	450.30	539.03

2.2 作物需水量分析

根据 FAO56 资料, 结合四平地区的气象条件, 给出了玉米和大豆在不同生长阶段的作物系数 K_c 值, 参考文献 [6, 13] 计算, 见图 1。

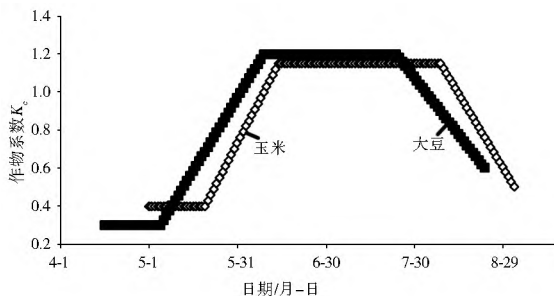


图 1 四平地区玉米和大豆的作物系数

Fig. 1 Crop coefficients of maize and soybean in Siping region

利用气象数据和公式(2)计算了参考作物蒸散量 ET_0 , 结合作物系数(图 1), 计算了(公式 1)四平地区玉米和大豆的需水量(ET_c), 见表 4。从表中可以看出, 四平地区玉米整个生育阶段内, 玉米多年平均需水量 ET_c 为 503.73 mm, 其中苗期最少, 为 25.11 mm, 占玉米全生育期需水量的 5%; 生

长期和成熟期较大, 分别为 136.40 mm 和 104.14 mm, 分别占玉米全生育期需水量的 27% 和 20.7%; 开花结实期最大, 为 238.08 mm, 占玉米全生育期需水量的 47.3%, 日平均需水量为 5.29 mm。大豆多年平均需水量 ET_c 为 484.18 mm, 其中苗期最少, 为 37.70 mm, 占大豆全生育期需水量的 7.8%; 生长期和成熟期较大, 分别为 101.23 mm 和 72.59 mm, 分别占大豆全生育期需水量的 20.9% 和 15%; 开花结实期最大, 为 272.68 mm, 占大豆全生育期需水量的 56.3%, 日平均需水量为 4.95 mm。

表 4 研究区域玉米和大豆需水量 ET_c 的多年平均统计结果

Tab. 4 Average annual water requirements of maize and soybean in Siping region

作物	全生育期 /mm	苗期 /mm	生长期 /mm	开花结实期 /mm	成熟期 /mm
玉米	503.73	25.11	136.40	238.08	104.14
大豆	484.18	37.70	101.23	272.68	72.59

根据表 3 有效降水量频率分析结果, 确定不同的水文年。在选取水文年过程中, 按照与频率分析结果相近的原则确定 2~3 个年份, 将其作物需水量的平均值作为最终结果。表 5 给出了四平地区不同水文年份玉米和大豆生育期内需水量的分析结果。由表可知, 丰水年、平水年和枯水年玉米平均需水量分别为 504.88 mm、467.83 mm、506.29 mm; 大豆需水量分别为 434.67 mm、498.80 mm、450.77 mm。

表 5 不同水文年玉米和大豆生育期内的有效降水量和需水量

Tab. 5 Effective rainfalls and water requirements for maize and soybean in the growth period during the wet, normal, and dry hydrologic years

作物	水文年份	mm			
		有效降水量	平均值	作物需水量	平均值
玉米	丰水年	1964	509.76	517.47	488.80
		1989	525.18		520.97
	平水年	1957	421.80	425.6	479.91
		1983	429.40		455.76
	枯水年	1970	359.20	352.79	525.48
		1996	359.70		505.36
大豆	丰水年	1971	541.58	540.23	451.10
		2010	538.88		418.24
	平水年	1977	444.60	452.26	496.08
		1994	459.92		501.51
	枯水年	1991	374.12	371.42	464.38
		1995	368.72		437.16

2.3 缺水量计算

四平地区玉米和大豆灌溉水量统计结果见表 6。由表可知, 四平地区玉米和大豆生育期内多年平均缺水量分别为 80.49 mm 和 41.56 mm。玉米除苗期(4-16~5-5)和成熟期(7-25~8-23)能够满足其需水外, 其他阶段的有效降水量均不能满足作物的需水量, 其中生长期(5-6~6-9)缺水最大, 为 69.2 mm, 开花结实期(6-10~7-24)缺水为 58.68 mm; 大豆除成熟期(8-10~9-2)能够满足其需水量外, 其他阶段均不能满足, 其中生长期(5-21~6-14)缺水最大, 为 37.71 mm, 苗期和开花结实期缺水分别为 10.22 mm、27.72

mm。若不及时进行灌溉,将会对产量造成较大影响^{[14][5]}。

表 6 四平地区玉米和大豆缺水多年平均统计结果

Tab. 6 Average annual water deficit for maize and soybean in the growth period

作物	全生育期	前期雨量	苗期	生长期	开花结实期	mm	
						成熟期	
玉米	有效降水量	423.24	5.74	26.67	67.20	179.4	144.23
	需水量	503.73	-	25.11	136.40	238.08	104.14
	缺水	80.49	-	-1.56	69.2	58.68	-40.09
大豆	有效降水量	442.62	12.93	27.48	63.52	244.96	93.73
	需水量	484.18	-	37.70	101.23	272.68	72.59
	缺水	41.56	-	10.22	37.71	27.72	-21.14

四平地区不同水文年份的缺水计算结果见表 7,由表可知,玉米枯水年、平水年、丰水年缺水分别为 153.50 mm、42.23 mm、-12.59 mm;大豆的缺水分别为 79.35 mm、46.54 mm、-105.56 mm。

表 7 四平地区玉米和大豆不同水文年缺水分析结果

Tab. 7 Water deficit for maize and soybean in the growth period during the wet, normal, and dry hydrologic years

作物	缺水计算	枯水年	平水年	丰水年	mm
					有效降水量
玉米	有效降水量	352.79	425.60	517.47	
	需水量	506.29	467.83	504.88	
	缺水	153.50	42.23	-12.59	
大豆	有效降水量	371.42	452.26	540.23	
	需水量	450.77	498.80	434.67	
	缺水	79.35	46.54	-105.56	

3 结论

本文基于四平地区气象数据,采用 Penman Monteith 公式(PM 公式)和作物系数法分别确定了玉米和大豆需水量,通过分析玉米和大豆生育期内的降水量与需水量,据此确定缺水。分析结果如下。

(1) 四平地区玉米多年平均有效降水量、需水量和缺水分别为 423.24、503.73、80.49 mm,除苗期和成熟期能够满足其需水外,其他阶段的有效降水量均不能满足作物的需水量,其中生长期缺水最大,为 69.2 mm;大豆多年平均有效降水量、需水量和缺水分别为 442.62、484.18、41.56 mm,除成熟期能够满足其需水量外,其他阶段均不能满足,其中生长期缺水最大,为 37.71 mm。

(2) 频率分析表明丰水年($P=25%$)、平水年($P=50%$)、枯水年($P=75%$)玉米生育期内平均有效降水量分别为 517.47、425.60、352.79 mm,平均需水量分别为 504.88、467.83、506.29 mm;大豆生育期内平均有效降水量分别为 540.23、452.26、371.42 mm,需水量分别为 434.67、498.80、450.77 mm。

(3) 考虑到生长期和开花结实期是玉米和大豆的快速生长阶段,对产量的形成有重要影响。因此建议在该阶段补充灌溉 1~2 次,每次 30~40 mm,可显著缓解作物亏水状况,实现稳产和高产。

参考文献(References):

- [1] 康绍忠,李万红,霍再林.粮食生产中水资源高效利用的科学问题—第 74 期“双清论坛”综述[J].中国科学基金,2012(6):321-324,329. (KANG Shaorzhong, LI Warrhong, HUO Zailin. Scientific issues on high efficient utilization of water resources in food production process—Summary of 74th Shuangqing Forum of NSFC[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2012(6): 321-324, 329. (in Chinese))
- [2] 苏明涛,张郁,靳英华.吉林省主要农作物的生产水足迹研究[J].干旱区资源与环境,2012,26(7):26-30. (SU Mingtao, ZHANG Yu, JIN Yinghua. The water footprint of main crops in Jilin province from a production perspective[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(7): 26-30. (in Chinese))
- [3] 薛庆喜.中国及东北三省 30 年大豆种植面积总产、单产、变化分析[J].中国农学通报,2013,29(35):102-106. (XUE Qingxi. Analysis on the change of 30 year's soybean areas, production and yield in China and northeast China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(35): 102-106. (in Chinese))
- [4] 刘钰,汪林,倪广恒,等.中国主要作物灌溉需水量空间分布特征[J].农业工程学报,2009,25(12):6-12. (LIU Yu, WANG Lin, NI Guangheng, et al. Spatial distribution characteristics of irrigation water requirement for main crops in China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 6-12. (in Chinese))
- [5] 肖俊夫,刘战东,陈玉民.中国玉米需水量与需水规律研究[J].玉米科学,2008,16(4):21-25. (XIAO Junfu, LIU Zhaodong, CHEN Yumin. Study on the water requirement and water requirement regulation of maize in China[J]. Journal of Maize Science, 2008, 16(4): 21-25. (in Chinese))
- [6] 亢振军,尹光华,刘作新,等.辽西玉米需水规律及灌溉预报研究[J].中国科学院研究生院学报,2010,27(5):615-620. (KANG Zherjun, YIN Guanghua, LIU Zuoxin, et al. Water requirement regulation and irrigation forecast of corn in western Liaoning[J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2010, 27(5): 615-620. (in Chinese))
- [7] 张建平,王春乙,杨晓光,等.未来气候变化对中国东北三省玉米需水量的影响预测[J].农业工程学报,2009,25(7):50-55. (ZHANG Jianping, WANG Chunyi, YANG Xiaoguang, et al. Impact forecast of future climate change on maize water requirement in three provinces of northeast China, 2009, 25(7): 50-55. (in Chinese))
- [8] 王旭明,刘海军,张睿昊,等.河套灌区参考作物蒸发蒸腾量估算方法研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(3):95-101. (WANG Xuming, LIU Haijun, ZHANG Ruihao, et al. Research on the estimating methods for reference crop evapotranspiration in Hetao irrigation district[J]. Agricultural Research In the Arid Areas, 2014, 32(3): 95-101. (in Chinese))
- [9] 赵娜娜,刘钰,蔡甲冰.夏玉米作物系数计算与耗水量研究[J].水利学报,2010,41(8):953-959,969. (ZHAO Nanna, LIU Yu, CAI Jiabing. Calculation of crop coefficient and water consumption of summer maize[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(8): 953-959, 969. (in Chinese))
- [10] 张雪娜.吉林省农业现代化发展与农业基地布局研究[D].吉林:东北师范大学,2008. (ZHANG Xuena. Study on agricultural modernization development and agricultural base configuration of Jilin province[D]. Jilin: Northeast Normal University, 2008. (in Chinese))

(下转第 1232 页)

4 结论

(1) 坝顶裂缝并未延伸至原砂石路下垫层, 即未影响到心墙部位, 表明坝顶混凝土路面裂缝不是心墙与坝壳料沉降不均匀造成的。

(2) 坝顶混凝土路面砂砾石层在顺河向分布厚度不均, 是造成坝顶混凝土路面裂缝的内因。坝顶路面未设置任何路障, 经常通过各类车辆, 其中不乏运输煤炭的重型货车。车辆超过坝顶混凝土路面设计荷载是造成其裂缝的外因。同时由于坝顶在上游侧设置有防浪墙, 车辆通过坝顶过程中本能的偏向下游侧行驶, 这也是造成坝顶混凝土路面不均匀裂缝的外因。

(3) 建议对坝顶裂缝进行处理, 限制坝顶路面通过社会车辆, 同时加强监测与巡视检查, 防止坝顶裂缝进一步发展。

参考文献(References):

- [1] Appalaraju Vetsa. Performance of doweled concrete joints subjected to fatigue loading[D]. Thesis submitted to the College of Engineering and Mineral Resources at West Virginia University, 2003.
- [2] Tang G X, Graham J. A Method for Testing Tensile Strength in Unsaturated Soils[J]. Geotechnical Testing Journal, 2000, 23(3): 377-382.
- [3] Mosaid A. Tensile Properties of Compacted Soils[M]. Laboratory Shear Strength of Soil. Special Technical Publication, ASTM, 1981: 207-225.
- [4] Tschebotarioff G P, Ward E R, Dephilippe A A. The Tensile Strength of Distributed and Recom packed Soils[C]. Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1953.
- [5] W A Yrjanson. E concrete in Pavement Design. International Conference on Concrete Pavement Design[R]. Purdue. 1997.
- [6] Maocai Zhao. Strengthening the Transverse Plate of a Highway Bridge[C]. Proceedings of the Kazakhstar Japan Joint Geotechnical Seminar. 2001(8).
- [7] William G. Davids and Zongmu Wang. 3D Finite element analysis of jointed plain concrete pavement with EverFE2. 2[R]. TRB 2003 Annual Meeting.
- [8] SHEN zhurjiang. Analyses of Seismic Pore Pressure and Permanent Deformation of Anth Dam. International Symposium on Earthquakes and Dams. Beijing. 1987.
- [9] Jur chun Li. Practical Examples of Safety Monitoring and Analysis for Earth and Rockfill Dams. Proc. of the ICOSD, 1984, 2(6).
- [10] 盛金保, 王昭升. 社上水库一号坝坝顶裂缝成因分析, 水利水运工程学报, 2003, (2): 44-45. (SHENG Jir bao, WANG Zhaosheng. Analysis of cracking in the 1st dam of Sheshang Reservoir[J]. Hydr Science and Engineering. 2003(2) : 44-45. (in Chinese))
- [11] 韩朝军, 朱晟. 土质防渗土石坝坝顶裂缝开裂机理与成因分析, 中国农村水利水电, 2013, (8): 116-120. (HAN Chaorjun, ZHU Sheng. The analysis of the factor of crack on crest in earth dam[J]. China Rural Water and Hydropower. 2013(8) : 116-120. (in Chinese))
- [12] Jur chun Li. A Simple Estimation Method on Crack of Earth Dam[J]. Hydr Science and Engineering. 1983, (3): 1-11.
- [13] Leonards G A, Narain J. Flexibility of Clay and Cracking of Earth Dams, proc. ASCE, 1963, 89(SM2).
- [14] Kjaornslis B, Torbla I. Leakage through Horizontal Cracks in the Core of Hytttejuvot dam. Geotechnical Institute Publication, 1968(80): 39-47.
- [15] Squier L R. Load Transfer in Earth and Rockfill Dams. Proc, ASCE 1970, 96(SM1): 213-233.
- [11] 单新兰, 苏占胜, 张智, 等. 宁夏山区春季降水对冬小麦生长发育的影响[J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 426-430. (SHAN Xinlan, SU Zhan sheng, ZHANG Zhi, et al. Impact of spring precipitation on the growing period and production of winter wheat in Ningxia southern mountain region[J]. Journal of Arid Meteorology, 2012, 30(3): 426-430. (in Chinese))
- [12] 郭元裕. 农田水利学[M]. 三版. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. (GUO Yuanru. Irrigation and Drainage Engineering[M]. 3 edition. Beijing: China Water & Power Press, 1997. (in Chinese))
- [13] 杨晓娟, 刘园, 白薇, 等. 黑龙江省大豆作物系数的确定[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(6): 53-56. (YANG Xiaojuan, LIU Yuan, Bai Wei, et al. Estimation of crop coefficients for soybean in Heilongjiang province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(6): 53-56. (in Chinese))
- [14] 任禾, 李月英, 韩成伟, 等. 吉林省玉米增产潜力分析[J]. 玉米科学, 2010, 18(6): 148-152. (REN He, LI Yueying, HAN Chengwei, et al. Analysis on increasing production potential of maize in Jilin province[J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(6): 148-152. (in Chinese))
- [15] 赵宏伟, 李秋祝, 魏永霞. 不同生育时期干旱对大豆主要生理参数及产量的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(3): 329-332. (ZHAO Hongwei, LI Qiuzhu, WEI Yongxia. Effect of drought at different growth stages on main physiological parameters and yield in soybean[J]. Soybean Science, 2006, 25(3): 329-332. (in Chinese))

(上接第 1228 页)