

# 有无拉杆矩形渡槽槽身受力差异分析

龚向波, 向真玮

(重庆地质矿产研究院外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室, 重庆 400042; 煤炭资源与安全开采国家重点实验室重庆研究中心, 重庆 400042)

**摘要** 渡槽是一种重要的水工结构, 对农业灌溉和生产具有重要作用。准确分析其承受荷载对内力分析乃至对后期配置钢筋和抗剪、抗裂验算具有重要作用。基于此, 对有横拉杆和无横拉杆矩形渡槽槽身结构进行对比分析, 分别对2种渡槽槽身人行道、侧墙、底板和横拉杆进行荷载分析和内力计算, 以反映出有无拉杆矩形渡槽槽身受力差异, 旨在为后期配置钢筋和抗剪、抗裂验算奠定基础, 对工程设计具有参考价值。

**关键词** 水工结构; 渡槽; 横拉杆; 受力特性

**中图分类号** S274 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)28-11563-04

## Analysis on Differences of Mechanical Characteristics of Tie Rod and Non-Tie Rod Rectangular Aqueduct Body

GONG Xiang-bo et al (Chongqing Key Laboratory of Exogenic Mineralization and Mine Environment, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042)

**Abstract** Aqueduct is an important kind of hydraulic structure. The accurate analysis on load plays a vital role in analyzing force even collocating rebar and checking calculation later. In view of the above, a comparative analysis on rectangular aqueduct body with tie rod and without tie rod was conducted, and then a detailed research on the loads and forces from sidewalk, flank, bottom board and tie rod was made in order to reflect mechanical characteristics of rectangular aqueduct body with tie rod and without tie rod and to make a foundation of collocating rebar and checking calculation, which has reference values on engineering design.

**Key words** Hydraulic structure; Aqueduct; Tie rod; Mechanical characteristic

渡槽又称高架渠、输水桥, 是一组由桥梁、隧道或沟渠构成的输水系统, 它是一种重要的水工结构, 适用于长距离输水, 从而完成水的调度。通常架设于山谷、洼地、河流之上, 用于通水、通行或通航, 可用来把远处的水引到水量不足的城镇和农村以供饮用和灌溉<sup>[1]</sup>。

目前, 渡槽的分类标准较多, 诸如按施工方法、所用材料、支撑结构形式和槽身断面形式等。其中, 按槽身断面形式可分为矩形、U形、梯形及圆管形等<sup>[2]</sup>。而在矩形槽身结构中又包含有拉杆式和无拉杆式渡槽。一般对于中小流量且无通航要求的渡槽, 槽顶可设拉杆, 间距一般在1.5~2.5 m之间, 一方面增加了侧墙的稳定性的同时也有利于改善槽身的横向受力条件; 如有通航要求, 则不布设拉杆, 同时需要适当加大侧墙厚度, 亦可做成变厚度侧墙, 或沿槽身长每隔一定距离布设一道横肋, 达到保证侧墙稳定的目的<sup>[3]</sup>。然而, 对于有拉杆与无拉杆形式的渡槽而言, 其受力特征是明显不同的, 这将直接影响其内力计算、配筋计算及抗剪验算等。

基于此, 以有无拉杆两种形式渡槽为例, 严格依据工程力学<sup>[4-6]</sup>及钢筋混凝土结构学<sup>[7]</sup>等学科理论对该两种渡槽槽身的受力特性进行对比分析, 为设计人员提供参考, 以实现准确计算内力和恰当配置钢筋的目的。

### 1 有无拉杆式渡槽槽身结构

由图1可知, 有横拉杆和无横拉杆矩形渡槽槽身结构差异。下面则对槽身人行道、侧墙、底板(含托承)及拉杆等主要部位进行对比分析研究。

### 2 无拉杆式槽身受力分析

在分析槽身各部位荷载之后, 进行内力计算, 其包括弯矩和剪力两部分, 其中, 弯矩为矢量, 其“+”、“-”表示与事先选定的正方向是否一致。各公式中字母单位均采用国际制单位。

**2.1 人行道** 对人行道进行荷载计算时, 只需考虑其自重 $q$ 及活荷载 $g$ 。进行内力计算时, 槽身根部截面处按悬臂梁内力公式计算。人行板示意图如图2所示。

$$\text{弯矩: } M = \gamma_0 \varphi \cdot \frac{1}{2} (q + g) l^2$$

$$\text{剪力: } V = \gamma_0 \varphi \cdot (q + g) l$$

**2.2 侧墙** 对侧墙进行荷载计算时, 按特殊组合考虑, 其承受满槽水重、自重及活荷载3种荷载。进行内力计算时, 按固定在底板端部的悬臂梁考虑, 其中, 人行道上活荷载及自重 $(q + g)$ 可简化为作用在墙顶的力矩 $M$ 及集中力 $P_1$ ; 侧墙自重 $P_2$ 作用在墙中心线上; 侧向水压力为三角形分布。侧墙示意图如图3所示。

(1) 侧墙根部截面I处(图3a、b):

$$\text{弯矩: } M_I = - \left[ \frac{1}{6} \gamma H^3 + \frac{1}{2} (q + g) l^2 \right]$$

$$\text{剪力: } V_I = \frac{1}{2} \gamma H^2$$

(2) 距截面I上面1 m截面II处(图3a、b):

$$\text{弯矩: } M_{II} = - \left[ \frac{1}{6} \gamma (H - 1.0)^3 + \frac{1}{2} (q + g) l^2 \right]$$

(3) 侧墙托承(20 × 20 cm)顶缘截面III处(图3a、b):

$$\text{弯矩: } M_{III} = - \left[ \frac{1}{6} \gamma (H - 0.2)^3 + \frac{1}{2} (q + g) l^2 \right]$$

(4) 侧墙外侧(图3c):

侧墙外侧承受风荷载, 当槽内无水且承受水平风荷载

作者简介 龚向波(1986-), 男, 重庆武隆人, 助理工程师, 长期从事农田节水工作, E-mail: 593536282@qq.com。

收稿日期 2013-08-27

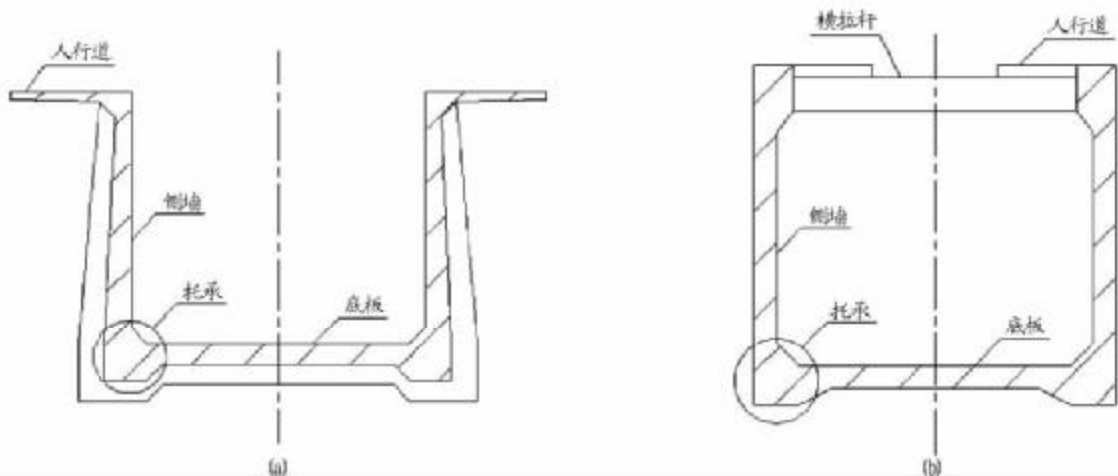


图1 有无横拉杆渡槽槽身结构示意图

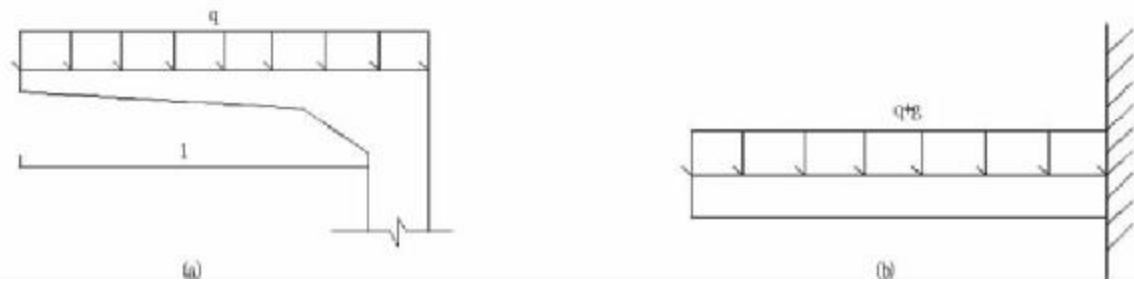


图2 无拉杆式渡槽人行板示意图

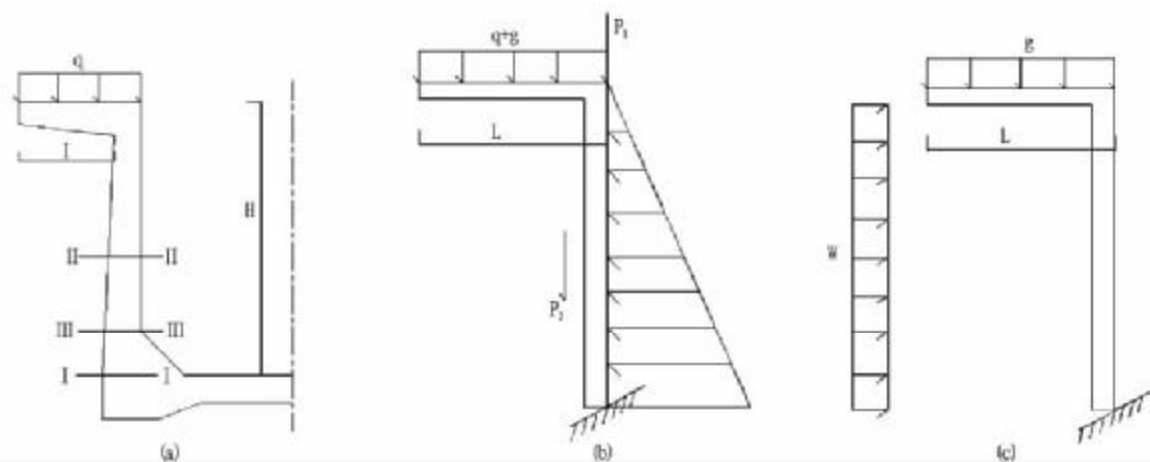


图3 无拉杆式渡槽侧墙示意图

时,侧墙外侧即产生拉应力,则此时截面I处所受弯矩如下:

$$\text{弯矩: } M_I' = \frac{1}{2}WH^2 - \frac{1}{2}gL^2$$

**2.3 底板** 由于引起底板支座与跨中最大弯矩的槽内水深不同,故需将支座截面与跨中截面分别加以讨论。底板示意图如图4所示。

(1) 支座截面。对支座而言,在一般情况下,槽内水深最大时所引起底板支座处的负弯矩为最大,因此,在本研究中,按满槽水深计算。

底板中间承受的均布荷载为满槽水深和自重之和( $q+g$ );底板两端承受由侧墙根部(截面I)传来的弯矩  $M_I$  及剪力  $V_I$ ,将  $M_I$  及  $V_I$  移至底板中心线上,成为作用在其两端的端弯矩  $M_A$ 、 $M_B$  及轴力  $N_A$ 、 $N_B$ :

$$N_A = N_B = V_I = \frac{1}{2}\gamma H^2$$

$$M_A = M_B = -M_I + \frac{1}{2}N_A l$$

底板可视为一中间承受均布荷载( $q+g$ )、两端有端弯矩  $M_A$  并受轴向拉力  $N_A$  的简支梁。A 距支座侧墙内侧  $x$  截面处:

$$\text{弯矩: } M_x = M_A + \frac{1}{2}(q+g)x(B-x)$$

B 转角托承(20×20 cm)下边缘截面IV处:

$$\text{弯矩: } M_{IV} = M_{(x+0.2)} = M_A + \frac{1}{2}(q+g)(x+0.2)[B-(x+0.2)]$$

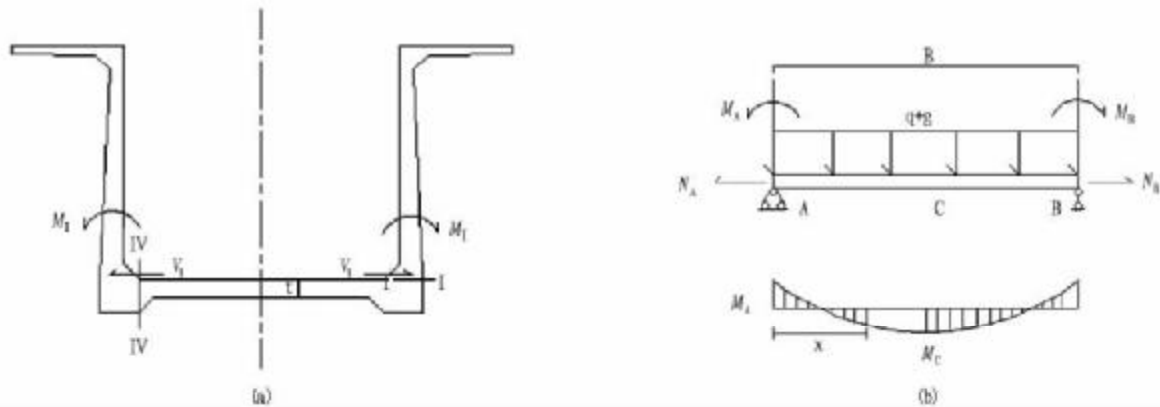


图 4 无拉杆式渡槽底板示意图

(2) 跨中截面。

$$\text{弯矩: } M_{\max} = \frac{1}{8}(q+g)B^2 + M_A$$

### 3 有拉杆式槽身受力分析

对有拉杆渡槽而言,其分析过程与上述相似,只是另需对横拉杆进行受力分析。其人行道通常布设在横拉杆之上,因此,有横拉杆式渡槽人行板则不同于无拉杆式渡槽人行板的悬臂梁结构;由于横拉杆的存在,侧墙结构为超静定结构。以下各公式中字母单位均采用国标制单位。

**3.1 人行板** 人行板为预制板,铺设在横拉杆上,可按简支梁进行计算。对其进行荷载计算时,只需考虑其自重  $q$  及活荷载  $g$ 。进行内力计算时,依据由承受均布荷载的简支梁公式。人行板示意图见图 5。

$$\text{跨中弯矩: } M = \gamma_0 \varphi \frac{1}{8}(q+g)l^2$$

$$\text{支座切力: } V = \gamma_0 \varphi \frac{1}{2}(q+g)l$$

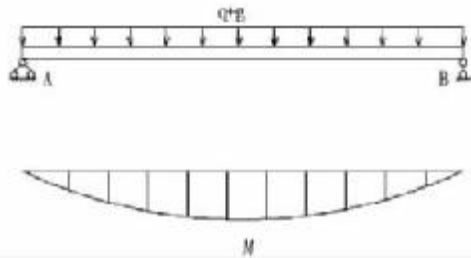


图 5 有拉杆式渡槽人行板示意图

**3.2 侧墙** 在计算荷载时,因满槽水深时引起的内力最大,故按特殊组合考虑。对侧墙而言,横拉杆为一铰支座,横拉杆传来人行板自重、活载及拉杆自重等竖向荷载  $P_1$  作用在侧墙顶,侧墙自重  $P_2$  作用在侧墙侧面,且呈三角形分布。对于此超静定结构,可采用弯矩分配法和利用相关公式对其进行内力分析计算。侧墙示意图如图 6 所示。

(1) 侧墙低端 I 处:

$$\text{弯矩: } M_A = \gamma_0 \varphi \left[ -\frac{\gamma H^3}{15} + \left( \frac{\gamma H^3}{15} - \frac{(q+g)B^2}{12} \right) \frac{\frac{3I_{AB}}{H}}{\frac{3I_{AB}}{H} + \frac{2I_{AC}}{B}} \right]$$

(2) 距侧墙顶  $y_m$  截面 II 处:

$$\text{弯矩: } M_{\max A} = \gamma_0 \varphi \left[ \left( \frac{M_A}{H} + \frac{\gamma H^2}{6} \right) y_m - \frac{\gamma y_m^3}{6} \right], \text{ 其中 } y_m = \sqrt{\frac{\gamma H + 6M_A}{3\gamma H}}$$

(3) 侧墙托承 (20 × 20 cm) 顶缘截面 III 处:

$$\text{弯矩: } M_{III} = \gamma_0 \varphi \left[ \left( \frac{M_A}{H} + \frac{\gamma H^2}{6} \right) (H - 0.2) - \frac{\gamma (H - 0.2)^3}{6} \right]$$

(4) 侧墙顶支座处:

$$\text{侧墙对拉杆拉力: } N = \gamma_0 \varphi \left[ -\left( \frac{M_A}{H} + \frac{\gamma H^2}{6} \right) \right]$$

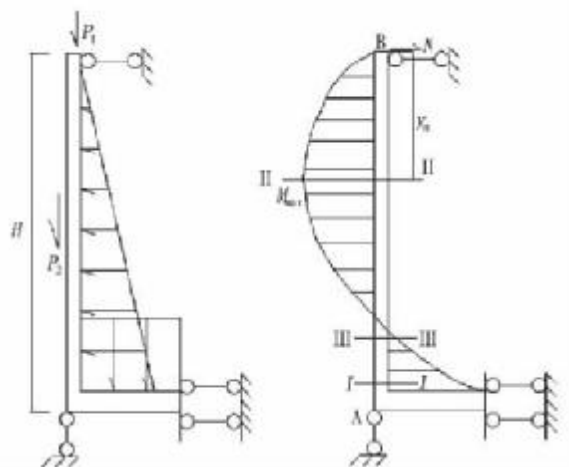


图 6 有拉杆式渡槽侧墙示意图

**3.3 底板** 与有拉杆式槽身类似,需将支座截面与跨中截面分别加以讨论。底板示意图如图 7 所示。

(1) 支座截面。对支座而言,在一般情况下,槽内水深最大时所引起底板支座处的负弯矩为最大,因此,在本研究中,按满槽水深计算。

底板中间承受的均布荷载为满槽水深和自重之和  $(q+g)$ ;底板两端承受由侧墙根部(截面 I)传来的弯矩  $M_1$  及切力  $V_1$ ,将  $M_1$  及  $V_1$  移至底板中心线上,成为作用在其两端的端弯矩  $M_A$ 、 $M_B$  及轴力  $N_A$ 、 $N_B$ :

A 距支座侧墙内侧边缘  $x$  截面处:

$$\text{弯矩: } M_x = M_A + \frac{1}{2}(q+g)x(B-x)$$

B 转角托承 (20 × 20 cm) 下边缘截面 IV 处:

弯矩： $M_N = M_{(x+0.2)} = M_A + \frac{1}{2}(q+g)(x+0.2)[B - (x+0.2)]$

(2) 跨中截面

弯矩： $M_{max} = \frac{1}{8}(q+g)B^2 + M_A$

**3.4 横拉杆** 拉杆两端与侧墙顶肋整浇,由于侧墙刚度远大于拉杆,因此,可将拉杆视为其两端为固定端。拉杆承受荷载包括其自重  $g$  和人行板传来的荷载  $q$ 。横拉杆示意图见

图 8。

(1) 支座截面

弯矩： $M_A = M_B = -\gamma_0\varphi[\frac{1}{12}gl^2 + \frac{1}{6}qC(3 - \frac{2C}{l})]$

剪力： $V_A = V_B = \gamma_0\varphi(\frac{1}{2}gl + qC)$

(2) 跨中截面

弯矩： $M_{max} = \gamma_0\varphi(\frac{1}{24}gl^2 + \frac{1}{3l}qC^3)$

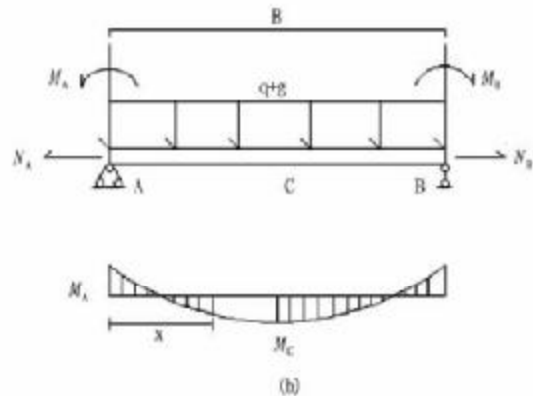
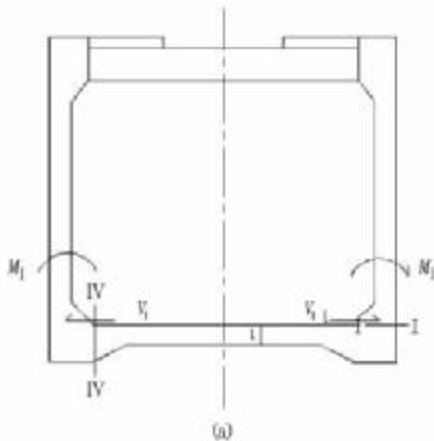


图 7 有拉杆式渡槽底板示意图

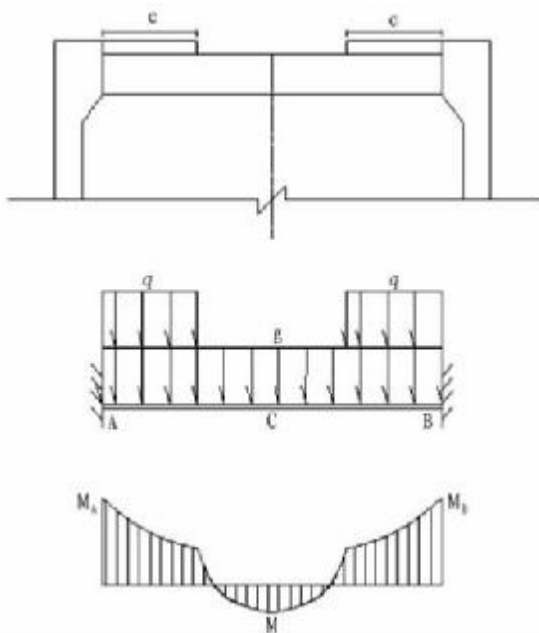


图 8 有拉杆式渡槽横拉杆示意图

**4 小结**

渡槽结构包括槽身、刚架、基础和一些细部构造,而不同

类型渡槽主要通过槽身结构得以体现。在工程设计时,通常首先对槽身进行设计,因此,对渡槽槽身的力学分析计算是否准确将直接影响着其刚架和基础设计。通过对有拉杆和无拉杆两种常用矩形渡槽槽身结构对比和详细的受力分析可知,人行道、侧墙和底板受力特性均存在一定差异,对于有拉杆而言,则另需对横拉杆进行分析研究。因此,对于有无横拉杆渡槽而言,二者受力特性不相同,在分析荷载、计算内力过程中不可混为一谈。

邢旭光<sup>[1]</sup>将渡槽设计与 VB 理论进行结合,效果良好。鉴于此,亦可将该研究置于 VB 环境,从而提高计算精度和工作效率。

**参考文献**

[1] 邢旭光,史文娟.基于 VB 下的渡槽设计研究[J].水资源与水工程学报,2011,22(4):118-120.  
 [2] 季日臣,陈尧隆,房振叶.大型多纵梁矩形渡槽受力分析与结构形式选择[J].水力发电学报,2007,26(3):49-53.  
 [3] 陈德亮,王长德.水工建筑物[M].4版.北京:中国水利水电出版社,2005.  
 [4] 孙训方,方孝淑.材料力学[M].2版.北京:高等教育出版社,1987.  
 [5] 李廉银.结构力学[M].3版.北京:高等教育出版社,1996.  
 [6] 黄小青,曾庆敦.工程结构力学(I)[M].北京:高等教育出版社,2001.  
 [7] 河海大学,等.水工钢筋混凝土结构学[M].3版.北京:中国水利水电出版社,1996.

(上接第 11455 页)

[2] 彭京备,陈烈庭,张庆云.多因子和多尺度合成中国夏季降水预测模型及预报试验[J].大气科学,2006,30(4):596-608.  
 [3] 黄颖,金龙.华南前汛期降水预测模型及其预测试验[J].热带气象学报,2011(5):753-757.  
 [4] 魏凤英,黄嘉佑.我国东部夏季降水量统计降尺度的可预测性研究[J].热带气象学报,2010(4):483-488.  
 [5] 田武文,吴素良,王娜.月尺度降水的客观预测方法研究[J].高原气象,2010,29(4):1072-1077.

[6] 雷向杰.短期气候预测质量评估方法与业务考核办法[J].陕西气象,2008(6):25-28.  
 [7] 程智.一种预测我国汛期降水统计模型的建立[J].安徽农业科学,2011,39(16):9877-9878,9930.  
 [8] 王碧波,曹艳芳,石静,等.赤峰市松山区近 51 年降水变化趋势分析[J].内蒙古农业科技,2012(4):102-103,111.