

异形喷嘴对变量喷头水力性能的影响*

陈超 袁寿其 李红 王超

(江苏大学流体机械工程技术研究中心, 镇江 212013)

【摘要】研究了异形喷嘴对变量喷头水量分布的影响。依据面积相同原则设计多种形状的异形喷嘴,测量了异形喷嘴的流量系数、射程和末端水滴直径,得出星形喷嘴射程降低较少,不同压力时水量分布规律相近,可改善低压力下均匀度。对比了星形喷嘴变量喷头和圆形喷嘴变量喷头的水力性能,星形喷嘴变量喷头远射程处平均喷灌强度为近射程处的85%,圆形喷嘴变量喷头远射程处平均喷灌强度为近射程处的79%,星形喷嘴变量喷头水量分布优于圆形喷嘴变量喷头。分析比较了变量喷头水量分布等值线图,结果表明,星形喷嘴变量喷头的水量分布均匀度好于圆形喷嘴变量喷头,方形喷洒域的均匀度好于三角形喷洒域。

关键词: 摇臂式喷头 异形喷嘴 水力性能 均匀度 变量喷洒

中图分类号: S277.9*4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)12-0111-05

Effect of Non-circle Nozzle on Hydraulic Performance of Impact Variable-rate Sprinkler

Chen Chao Yuan Shouqi Li Hong Wang Chao

(Research Center of Fluid Machinery Engineering and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

To improve the irrigation uniformity of the variable-rate sprinkler, the relationship between the non-circle nozzle and the rainfall distribution of the variable-rate sprinkler was studied. Based on equal nozzle area, non-circle nozzles with different shapes were designed and their hydraulic characteristics were compared through experiment. The experiment indicated that for the star shaped nozzle, the range rarely decreased and the tendency of the rainfall distribution under different pressures were similar. The hydraulic character was compared between the star shaped nozzle and the circle nozzle. For the star shaped nozzle, the rainfall distribution of the long range area was 85% of the short range area, for the circle nozzle, the number was 79%, which indicated that the rainfall distribution of the star shaped nozzle was better than that of the circle nozzle. The isogram of sprinkler water depth showed that the irrigation uniformity of the star shaped nozzle was better than that of the circle nozzle and the irrigation uniformity of the square irrigation area was better than that of the triangle irrigation area.

Key words Impact sprinkler, Non-circle nozzle, Hydraulic performance, Uniformity, Variable-rate spraying

引言

随着喷灌技术的发展,越来越多的学者开始研究变喷洒域喷头^[1~5]。国内外现有变量喷头往往存

在结构复杂、运行不稳定、喷洒均匀性较差等问题^[6~9]。异形喷嘴即非圆形喷嘴,它可降低喷头工作压力,改善喷头雾化状况和单喷头水量分布^[10~11]。为了改善摇臂式变量喷头均匀度较差,特

收稿日期: 2011-10-08 修回日期: 2011-10-25

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2011AA100506)

作者简介: 陈超,博士生,主要从事节水灌溉技术研究,E-mail: xchzh3605@163.com

通讯作者: 袁寿其,研究员,博士生导师,主要从事排灌机械及流体机械研究,E-mail: shouqi@ujs.edu.cn

别是低压力下水量分布不好的问题,本文设计多种异形喷嘴,通过对各异形喷嘴进行对比试验,找出适合变量喷洒使用的异形喷嘴,以提高变量喷头的灌溉均匀性。

1 异形喷嘴设计

圆锥形喷嘴结构简单、加工方便,被大量应用于摇臂式喷头,其结构如图 1 所示。圆锥形喷嘴的主要结构参数有:喷嘴直径 D 、喷嘴圆柱段长度 L 和喷嘴内部流道的锥角 θ 。

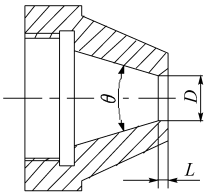


图 1 圆锥形喷嘴结构简图
Fig.1 Structure of conical nozzle

喷嘴锥角是影响喷头射程的重要因素。综合考虑喷头流量和射程,喷嘴锥角一般取 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ [12]。喷嘴出口处设计一段圆柱段是保证水流出出口后,不致过分收缩。根据国内实践,喷嘴圆柱段长度 L 一般为 $0.5 \sim 1.5 \text{ mm}$,最大不能超过 2 mm ,否则射程和流量系数均会显著下降。喷嘴直径 D 是影响喷头流量的重要因素,也会影响喷头喷灌强度和雾化性能等。

为了研究喷嘴结构对其水力性能的影响,可采用以下 2 种方法确定喷嘴面积:

(1)面积相同原则。这种方法便于设计异形喷嘴。但因为流量系数的不同,异形喷嘴和圆形喷嘴流量存在差异,流量的变化会影响喷头的水力性能,对试验结果的分析会造成一定的影响。

(2)当量面积相同原则。这种方法便于比较异形喷嘴的水力性能。但通过试验研究发现,喷嘴流量系数随压力变化而改变,根据一个压力点流量系数选择的当量面积,不能保证其他压力下流量完全相同,而且喷嘴的流量系数需要通过试验来测定。

通过综合考虑,本文按照面积相同原则,设计了如图 2 所示的 4 种异形喷嘴。通过对比异形喷嘴的流量系数、射程和末端水滴直径等,得到异形喷嘴对喷头水力性能的影响。

2 异形喷嘴的水力性能参数

2.1 流量和射程

以 PY₂30 型喷头为样机,对上述 4 种形式的异形喷嘴进行射程和流量系数测试,并与圆形喷嘴数据进行对比,如表 1、2 所示。

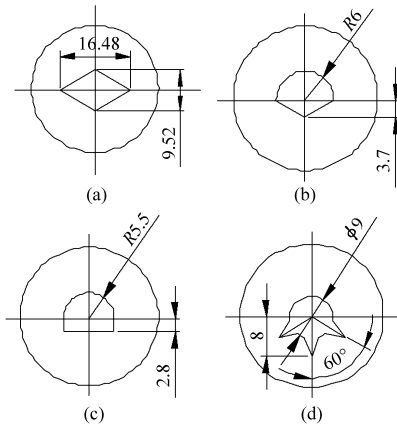


图 2 异形喷嘴结构简图

Fig.2 Structure of non-circle nozzle

(a) 菱形 (b) 半圆 + 三角形 (c) 半圆 + 矩形 (d) 星形

表 1 PY₂30 型喷头不同压力下的流量系数

Tab.1 Flow coefficients under different pressures of the PY₂30 sprinkler

喷嘴形式	压力/kPa				
	300	350	400	450	500
圆形	0.972	0.976	0.977	0.978	0.981
半圆 + 矩形	0.921	0.914	0.910	0.908	0.905
星形	0.893	0.893	0.892	0.891	0.888
半圆 + 三角形	0.879	0.873	0.871	0.869	0.872
菱形	0.873	0.880	0.876	0.874	0.876

表 2 PY₂30 型喷头不同压力下的射程

Tab.2 Ranges under different pressures of the PY₂30 sprinkler

m

喷嘴形式	压力/kPa				
	300	350	400	450	500
圆形	23.9	24.2	25.4	26.3	27.4
半圆 + 矩形	21.9	23.6	24.5	25.3	25.7
星形	22.1	23.5	24.3	25.1	26.0
半圆 + 三角形	21.8	22.6	23.1	23.5	23.5
菱形	19.2	19.8	20.2	20.2	20.4

由表 1 及表 2 知:

(1)半圆 + 三角形、菱形喷嘴在 300 ~ 500 kPa 压力下,射程变化较小,因此要实现变量喷洒,只能降低工作压力,使喷头在较低压力下工作;半圆 + 矩形喷嘴、星形喷嘴在 300 ~ 500 kPa 压力下,射程变化较大,其趋势与圆形喷嘴相当,有利于实现变量喷洒。

(2)压力相同时,半圆 + 矩形喷嘴和星形喷嘴的射程为圆形喷嘴的 91% ~ 97%,半圆 + 三角形喷嘴的射程为圆形喷嘴的 85% ~ 93%,菱形喷嘴射程只有圆形喷嘴的 75% ~ 81%。这与喷嘴流量系数

的变化情况近似,因此要保证喷头的射程应尽量选择流量系数大的喷嘴。

2.2 水滴直径

研究表明,水滴直径随着距喷头距离的增大而增大,在射程末端达到最大值^[13]。因此,末端水滴直径可作为衡量喷头雾化状况的重要依据。

喷嘴形状对水滴直径的影响,一般用喷嘴的形状系数来表示,喷嘴的形状系数^[14]为

$$\beta = \frac{X^2}{16A}$$

式中 X——喷嘴过水断面周长,mm

A——喷嘴过水断面面积,mm²

由上式可知,喷嘴形状越偏离圆形,β 值越大。通过试验研究知,β 值越大,喷嘴形状对水滴直径的影响越大。

表 3 PY₂30 型喷头异形喷嘴的形状系数及末端水滴直径
Tab.3 Shape coefficients and ending raindrop diameters of the PY₂30 sprinkler

喷嘴形式	形状系数	末端水滴直径/mm
圆形	0.785	4.54
半圆 + 矩形	0.916	4.36
星形	1.485	4.18
半圆 + 三角形	0.872	4.28
菱形	1.154	4.02

注:末端雨滴直径均为 400 kPa 下的数据。

由表 2 和表 3 的数据得,圆形喷嘴、半圆 + 矩形喷嘴射程和星形喷嘴射程相近,末端水滴直径随形状系数的增大而减小。菱形喷嘴射程最短,虽然其形状系数比星形喷嘴要小,但是末端水滴直径最小。因此,末端水滴直径与喷嘴形状系数和射程相关。

由上述研究结果知,星形喷嘴结构上接近于圆形喷嘴,其能量转换效率较高,相比于圆形喷嘴其射程降低较小,能保证喷头的实现较远的射程。另一方面星形喷嘴的形状系数较大,可以提高射流的雾化程度,改善喷头的水量分布,因此本文选择星形喷嘴来替换圆形喷嘴。

3 星形喷嘴出口尺寸的确定

为了确定星形喷嘴的出口尺寸,加工了图 3 所示的 3 种星形喷嘴,通过对 3 种星形喷嘴的对比试验,找出最优结构。

水量分布是考核喷嘴性能的关键因素。图 4 为使用 3 种星形喷嘴的摇臂式喷头在 300、400 kPa 压力下的水量分布曲线。

由图 4 可知,400 kPa 时,3 种喷嘴水量分布相近,近喷头处有一段凹部出现,在远处水量分布接近

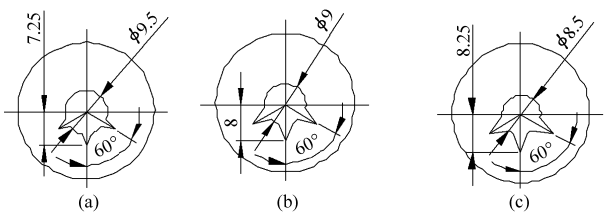


图 3 星形喷嘴的出口示意图

Fig.3 Outlet of star shaped nozzle

(a) 基圆直径 9.5 mm (b) 基圆直径 9.0 mm
(c) 基圆直径 8.5 mm

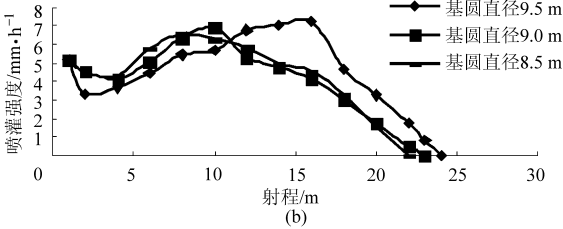
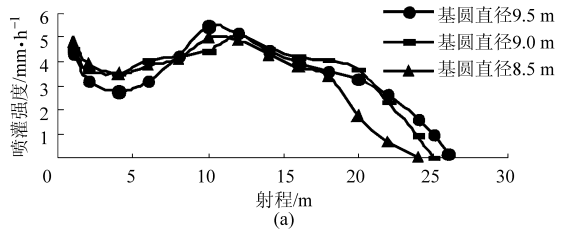


图 4 星形喷嘴水量分布曲线

Fig.4 Rainfall distribution of star shaped nozzle

(a) 400 kPa (b) 300 kPa

于三角形形式,有利于组合灌溉;300 kPa 时,基圆直径 9.5 mm 喷嘴近喷头处出现了一段喷灌强度为 3.5 mm/h 的凹部,远端有 7 mm/h 以上的强水量区域,而基圆直径 9 mm 喷嘴和基圆直径 8.5 mm 的近处凹部的喷灌强度在 4 mm/h 以上,最大喷灌强度也比基圆直径 9.5 mm 喷嘴小。另基圆直径 8.5 mm 喷嘴射程比基圆直径 9.5 mm 喷嘴射程降低了 2 m 左右,射程降低较多。综合考虑射程和水量分布情况认为基圆直径 9.0 mm 的星形喷嘴性能最优。

4 异形喷嘴变量喷头试验

样机(图 5)试验在江苏大学流体机械工程研究中心喷灌试验大厅进行。试验设备包括星形结构变量喷头、管路系统、水泵机组、喷头水量分布微机自动测试系统等。试验测试时间为 1 h。压力测量使用 MPM482 型压力变送器,其精度等级为 0.5 级;流量测量采用电磁流量计,其精度等级为 0.5 级;喷头水量分布微机自动测试系统的绝对误差在 0.1 mm 左右。

为了表述方便,摇臂式变量喷头的型号规定为 BPY30。试验测量了 BPY30 型喷头的水力性能,三角形喷酒域样机最大工作压力为 400 kPa,流量范围

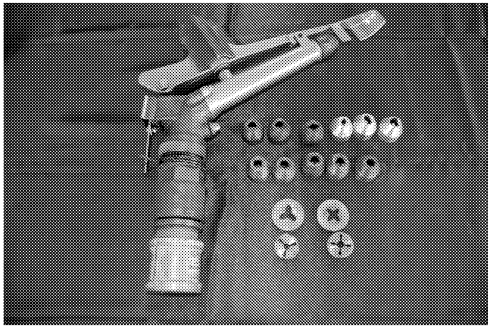


图 5 变量喷头样机及异形喷嘴

Fig. 5 Variable-rate sprinkler and non-circle nozzle

为 $3.717 \sim 6.850 \text{ m}^3/\text{h}$; 方形喷洒域样机最大工作压力为 400 kPa , 流量范围为 $4.781 \sim 6.924 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

图 6 为 BPY30 型喷头水滴直径随射程的变化情况。通过试验结果知, BPY30 型喷头三角形喷洒时, 其远射程处末端水滴直径为 4.15 mm , 近射程处末端水滴直径为 4.91 mm 。BPY30 型喷头方形喷洒时, 其远射程处末端水滴直径为 4.18 mm , 近射程处末端水滴直径为 4.87 mm 。

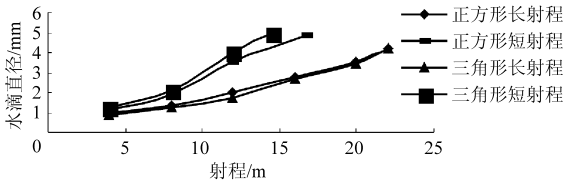


图 6 BPY30 型喷头水滴变化情况

Fig. 6 Raindrop diameter of the BPY30 sprinkler

图 7 对比了圆形喷嘴变量喷头和星形喷嘴变量喷头的水量分布曲线。星形喷嘴方形喷洒域远射程处平均喷灌强度为 3.52 mm/h , 近射程处平均喷灌强度为 4.13 mm/h , 其远射程处平均喷灌强度为近射程下的 85% ; 圆形喷嘴变量喷头, 远射程时平均喷灌强度为 4.43 mm/h , 近射程下平均喷灌强度为 5.59 mm/h , 其远射程处平均喷灌强度为近射程下的 79% 。

图 8 为变量喷头水量分布图。对比图 8a 和图 8b 可知, 圆形喷嘴方形喷洒域喷头在远射程段射

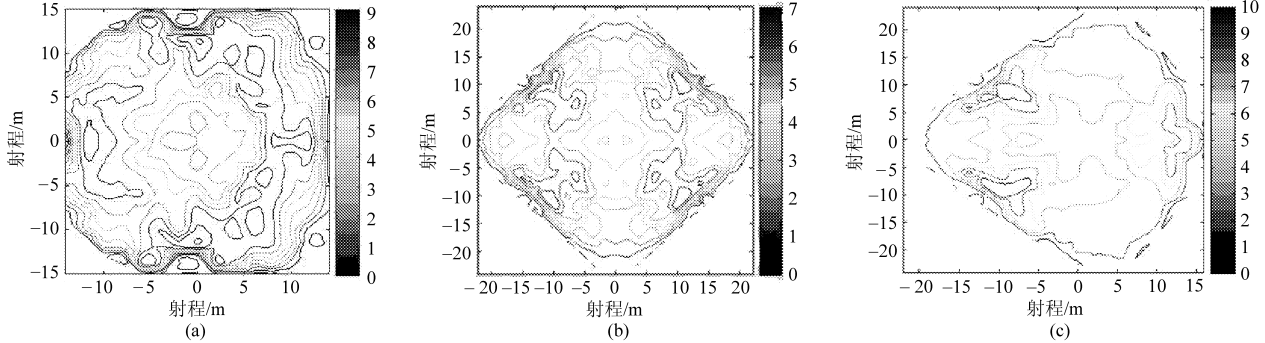


图 8 变量喷头水量分布图

Fig. 8 Rainfall distribution of variable-rate sprinkler

(a) 圆形喷嘴方形喷洒域 (b) 星形喷嘴方形喷洒域 (c) 星形喷嘴三角形喷洒域

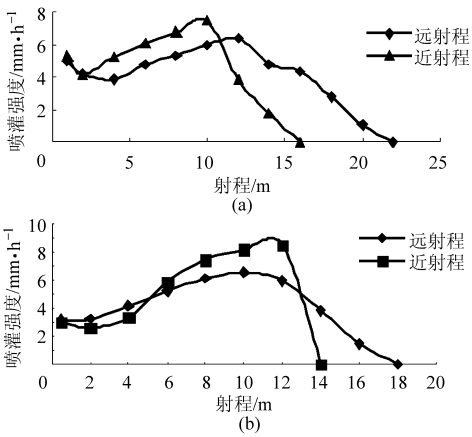


图 7 变量喷头水量分布曲线

Fig. 7 Rainfall distribution of variable-rate sprinkler

(a) 星形喷嘴方形喷洒域 (b) 圆形喷嘴方形喷洒域

程变化为圆弧段, 其喷洒域形状和设计相差较大, 而星形喷嘴变量喷头喷洒域形状基本符合设计要求, 因此星形喷嘴可以改善变量喷头的水量分布。对比图 8b 和图 8c 方形喷洒域和三角形喷洒域都在近射程处出现最大水量, 但方形喷洒域的最大喷灌强度要小于三角形喷洒域最大喷灌强度; 方形喷洒域水量分布均匀性和形状都要优于三角形喷洒域。分析其原因, 主要为三角形喷洒域时, 喷头远射程到近射程调节范围太大, 造成了三角形喷洒域水量分布均匀性下降。

5 结论

(1) 依据面积相同原则设计了 4 种异形喷嘴, 通过与圆形喷嘴的对比试验, 得出基圆直径 9 mm 星形喷嘴在射程降低较小, 低压力情况下, 仍能达到较好的喷洒质量。因此认为星形喷嘴是 4 种异形喷嘴中最优的。

(2) 测试了星形喷嘴变量喷头的水力性能, 研究其水滴直径随射程的变化情况及不同射程下水量分布。星形喷嘴变量喷头远射程处平均喷灌强度为近射程处平均喷灌强度的 85% , 圆形喷嘴变量喷头

远射程处平均喷灌强度为近射程下的 79% ,试验结果表明星形喷嘴变量喷头水量分布优于圆形喷嘴变量喷头。

(3)绘制了变量喷头水量分布等值线图,由圆形喷嘴方形喷洒域和星形喷嘴方形喷洒域对比知,星形喷嘴可以改善变量喷头水量分布,降低近射程处喷灌强度。对比星形喷嘴方形喷洒域和星形喷嘴三角形喷洒域水量分布图知,方形喷洒域均匀性要优于三角形喷洒域。

(3)绘制了变量喷头水量分布等值线图,由圆形喷嘴方形喷洒域和星形喷嘴方形喷洒域对比知,

参 考 文 献

1 范兴科,冯浩,吴普特,等. 全圆旋转摇臂式喷头的非圆形域喷洒[J]. 灌溉排水学报,2006,25(1):58~61.
Fan Xingke, Feng Hao, Wu Pute, et al. Non-circular spray region of the round rotatory rocker arm sprinkler[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(1): 58~61. (in Chinese)

2 郝培业. 新型摇臂式喷头:中国,00215392[P]. 2001-06-27.

3 Deboer D W. Sprinkler application pattern shape and surface runoff[J]. Transactions of the ASAE, 2001, 44(5): 1 217~1 220.

4 韩文霆,冯浩,吴普特,等. 非圆形喷洒域的摇臂式喷头:中国,2598657[P]. 2004-01-14.

5 汤跃,骆寅,袁寿其,等. 旋转喷头变压节能供水变域喷洒控制策略与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(12):93~98.
Tang Yue, Luo Yin, Yuan Shouqi, et al. Variable range of precision spraying of lawn sprinkler for control strategy by variable pressure technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 93~98. (in Chinese)

6 韩文霆,吴普特,冯浩,等. 变量喷头实现均匀喷灌的研究[J]. 农业工程学报,2005,21(10):13~16.
Han Wenting, Wu Pute, Feng Hao, et al. The oretical study on variable-rate sprinklers for high uniformity precision irrigation [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 13~16. (in Chinese)

7 Sadler E J, Evans R G, Buchleite G W, et al. Campsite-specific variable-rate precision irrigation[J]. Irrigation Journal, 2001(6): 20~24.

8 King B A, Kincaid D C. A variable flow rate sprinkler for site-specific irrigation management[J]. Transactions of the ASAE, 2003, 20(6): 765~770.

9 韩鑫,郝培业. 方形喷洒域摇臂式喷头喷洒机理分析[J]. 农业机械学报,2005,36(3):40~43.
Han Xin, Hao Peiye. Analysis of spraying mechanism of a whirl sprinkler with square spray field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(3): 40~43. (in Chinese)

10 李久生. 异形喷嘴雾化状况的研究[J]. 喷灌技术,1991(3):28~32.
Li Jiusheng. Study on the atomizing condition of non-circular nozzles[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991(3): 28~32. (in Chinese)

11 魏洋洋,袁寿其,李红,等. 异形喷嘴变量喷头水力性能试验[J]. 农业机械学报,2011,42(7):70~74.
Wei Yangyang, Yuan Shouqi, Li Hong, et al. Hydraulic performance experiment of the variable-rate sprinkler with non-circle nozzle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7): 70~74. (in Chinese)

12 李世英. 喷灌喷头理论与设计[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.

13 徐红,龚时宏,贾瑞卿,等. 新型 ZY 系列摇臂旋转式喷头水滴直径分布规律的试验研究[J]. 水力学报,2010, 41(12):1 416~1 422.
Xu Hong, Gong Shihong, Jia Ruiqing, et al. Study on droplet size distribution of ZY sprinkler head [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(12): 1 416~1 422. (in Chinese)

14 李久生,马福才. 喷嘴形状对喷洒水滴动能的影响[J]. 灌溉排水,1997,16(2):1~6.
Li Jiusheng, Ma Fucui. Effect of nozzle shape on the spray drop kinetic energy from sprinklers[J]. Irrigation and Drainage, 1997, 16(2): 1~6. (in Chinese)

(上接第 137 页)

14 詹咏,徐国勋,吴文权,等. 最佳混凝条件下混凝剂投量数学模型[J]. 中国给水排水,2004,20(1):55~57.
Zhan Yong, Xu Guoxun, Wu Wenquan, et al. Mathematical model for coagulant dosage under the optimal coagulation condition [J]. China Water and Wastewater,2004,20(1):55~57. (in Chinese)

15 刘灿生,张世贤,陈牧民,等. 原水浊度混凝剂最佳投量的匹配[J]. 哈尔滨建筑工程学院学报,1993,26(3):63~67.
Liu Cansheng, Zhang Shixian, Chen Mumin, et al. Comparision of the turbidity of raw water and the optimal dosing of coagulant [J]. Journal of Harbin University of Civil Engineering and Architecture,1993,26(3):63~67. (in Chinese)

16 许保玖. 给水处理理论[M]. 1 版. 北京:中国建筑工业出版社,2000:150~154.