

重粉质壤土泥浆泵筑坝人工管网排水技术研究

王盼, 朱首军, 芦杰丰, 马宁, 李聪会, 马笑

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 人工管网排水技术在泥浆泵筑坝工艺中的应用, 为重粉质壤土区修筑泥浆坝提供了基础资料和理论指导, 也为同类地区推广应用该筑坝技术, 普及该排水措施提供了科学依据。以陕西省白水西武村附近雷牙沟流域的黄土作为试验对象, 对该排水系统的布设、施工方法及其排水效果进行了试验研究。结果表明, 排水管道的材料选定和管道布设形式是影响坝体排水的决定性因素; 聚乙烯微孔波纹管排水系统在一定程度上加速坝体脱水固结, 但效果不显著; 重粉质壤土黏粒含量较高, 致使泥浆排水困难。人工管网排水技术在泥浆泵筑坝试验中的应用加速了坝体脱水固结, 但是效果不佳, 还需不断总结经验, 选取理想的管道滤水材料, 合理布设排水管道并完善排水设施。

关键词: 人工管网排水技术; 重粉质壤土; 脱水固结

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)02-0127-05

中图分类号: S276.5, TV641.2

Artificial Drainage Networks for Building Mud Dams Using Heavy Silt Loam

WANG Pan, ZHU Shou-jun, LU Jie-feng, MA Ning, LI Cong-hui, MA Xiao

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The application of the artificial network drainage system in the techniques of dam construction using slurry pumps provides practical examples and theoretical guidance for building mud dams in the heavy silt loam region, as well as scientific basis for promoting and populating this technology in the similar areas. The loess soils from Dagou basin near Xiwu village of Baishui County in Shaanxi Province were collected as study materials. The layout of drainage system, construction methods and drainage effects were investigated and compared in this study. The designs and the layout of the drainage pipeline influenced decisively the effectiveness of the drainage. The drainage system using polyethylene corrugated pipes with micro-apertures could speed up the dehydration and consolidation of the dam to some extent, but the effect was not highly significant. The heavy silt loam had a high content of clay, which lead to the difficulty in drainage. The utilization of artificial network drainage technology in building dams with mud pumps in deed accelerated the dehydration and consolidation of the dams, although the effects were not highly significant. More investigations are required in selecting optimal pipes as filtering materials, designing drainage pipes reasonably and improving the layout plans.

Keywords: artificial network drainage technology; heavy silt loam; dehydration and consolidation

水坠坝是我国首创的一种自流式水力冲填坝,在我国水利、水土保持工程中被广泛采用。但是水坠坝对建坝地形、料场的要求较高^[1-2]。说明水坠法筑坝还有其一定的局限性。泥浆泵筑坝是在水坠坝的基础上发展而成的一种新型筑坝工艺,是将一定比例的土水经设备拌合后所成的浆体通过泥浆泵引流至坝面,脱水固结所形成的坝。泥浆泵筑坝较水坠法筑坝具有一定的优越性和适用性,通过现场筑坝试验得出

泥浆泵筑坝具有施工条件要求低、脱水固结较快、筑坝质量高、实用性强等诸多优点。

泥浆泵筑坝和水坠法筑坝均面临同样的问题——泥浆的脱水固结。两种筑坝方式均有造土成泥的过程,在该过程中原状土的结构被彻底破坏,形成土和水的二相混合物,泥浆中的束缚水远大于自由水,排水比较困难;试验区土壤黏粒含量较高,排水管道外层包裹的土工布滤水孔易被较细的黏粒堵塞,阻

收稿日期: 2011-08-21

修回日期: 2011-10-19

资助项目: 陕西省水利厅水保重点科研项目“泥浆泵筑坝技术试验研究”(002-0701)

作者简介: 王盼(1986—),女(汉族),甘肃省金昌市人,硕士研究生,主要从事水土保持工程研究。E-mail: 569593884@qq.com。

通信作者: 朱首军(1965—),男(汉族),江苏省沛县人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事水土保持工程、小流域综合治理等方面的教学科研工作。E-mail: zhushoujun@nwsuaf.edu.cn。

碍了坝体的排水固结;坝体泥浆坝脱水固结的快慢则是排水系统效果是否显著的直接判别依据。因此,泥浆泵筑坝脱水固结的快慢是试验坝成功的关键,也是我国水坠法筑坝亟待解决的核心问题。泥浆泵筑坝技术的成功也可有效促进山地农田的基本建设,为我国水土保持生态建设做出贡献。

1 试验区概况

泥浆泵筑坝试验坝坝址选在陕西省白水雷牙沟流域,该区多年平均气温 $11.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均降水量 577.8 mm 。由于长期的水力侵蚀,形成了塬面剧烈切割,沟道纵横,沟道下游基岩裸露的特征,沟道断面形状多为“U”或“V”形。沟道两岸土质为黄土状重粉质壤土^[3-4],储量丰富。室内通过常规土工实验对筑坝土料特性进行了测定,该土料黏粒含量($<0.005\text{ mm}$)达 $20\% \sim 26\%$,属于重粉质壤土,天然含水量为 16% ,天然干密度为 1.5 g/cm^3 。通过对土样土工试验^[5]结果的论证,该区土壤满足《水坠坝技术规范(SL302—2004)》^[6]的规定要求,说明该土样可以进行泥浆试验。

2 排水系统及其布设

2.1 排水设施的选定依据

在水坠坝施工中,为了加速坝体脱水固结,大多采用砂井、沙沟、排水盲沟等排水设施,这些排水设施都需要大量的沙砾料,致使该技术在沙砾料比较缺乏的地区应用相对比较困难。而且,实践表明这些措施施工困难,且易被泥浆流冲断、冲倒而失效^[7-8]。此外,前期室内实验结果得出泥浆泵筑坝冲填土料黏粒含量高于现行规范中水坠坝施工土料含黏量 $3\% \sim 20\%$ 的标准,细小颗粒易堵塞排水管外层滤水组织,造成排水不畅。鉴于以上因素,在泥浆泵筑坝试验中采用聚乙烯微孔波纹管作为排水材料。聚乙烯波纹管比较稳定,荷载作用后不会渗漏,耐踩压,不易被损坏,且汇水面积大,是很好的排水管材。

2.2 排水材料

试验坝中排水材料主要采用粗、细两种尺寸的聚乙烯微孔波纹管。在排水系统施工中,管道外围采用土工布包裹滤水,以便有效地截留泥浆中的土粒,使浆体中的水分顺土工布孔隙汇流到排水管内排出坝体。

2.3 排水系统的布设依据及程序

排水系统采用立体网状布设,该布设方式可保证冲填泥浆与排水管外围滤水材料有效接触,迅速建立

排水通道,加快排水,且各排水管互相连通,形成一个稳定的框架结构,不易被泥浆流冲倒。此外,水平排水管和排水盲管的布设均有一定比降,水平排水管采用 $1/70$ 的坡比布设;东、西区排水盲管分别采用 $1/100$ 和 $1/70$ 的坡比设置。并用木桩和铁丝固定,防止管道被泥浆冲倒。

为保证施工的便易和道路的通畅,将坝体分为东、西两区,中间修筑约 1.5 m 宽的泥浆分隔埂,如此形成东、西两区独立的立体网状排水系统,由横、纵向水平排水管、竖井和排水盲管构成(图 1)。(1)横、纵向水平排水层。预期计划在坝体内布设 $5 \sim 6$ 层,但随着冲填层的不断加高,泥浆脱水固结缓慢,对后期管道布设施工造成一定的困难。因此,水平排水管在坝体内分 3 层布设。底层布设在原碾压面上(高程 834.2 m)。东区横向布设 7 根,各长 7.5 m ,间距 2 m ,与排水盲管垂直,呈羽状排列;竖向布设 1 根,长 9 m ,坡比 $1/100$ 。西区横向布设 8 根,各长 6 m ,间距 2 m ;纵向布设 1 根,长 9 m ,坡比 $1/70$ 。其中所有横、纵向水平排水管均于竖井相连,并最终汇集到排水盲管。第二层布设在坝高 3.9 m 处(高程 834.7 m)。东区横向布设 3 根,各长 6.6 m ,间距由上游至下游 3 和 6 m ;纵向 1 根,长 9 m 。西区横向布设 3 根,各长 7.6 m ,间距同东区布设一样;纵向 1 根,长 9 m 。第三层布设在坝高 4.9 m (高程 835.7 m)处,具体布设同第二层。3 层水平排水管均与竖井相连,竖井与排水盲管连接。(2)竖井共布设 6 根,连接 3 层横、纵向水平波纹管和排水盲管,随着坝体的升高,逐渐加高至第 3 层终止。(3)排水盲管分别与第一层横、纵向水平排水管和 6 根竖井相连,并延伸出下游边埂停设。

2.4 施工方法

波纹管埋设前,将事先缝制好的粗、细土工布套分别套装在排水盲管和水平波纹管上,将其中一头的布头用铁丝绑扎,另一头与竖井连接;排水盲管与竖井的交叉接头,用直通或者三通连接,然后包缠土工布再进行绑扎^[9-17]。埋设波纹管时先在泥面上铺一层细沙,将裹有土工布的波纹管全部掩盖。然后在下边埂上开挖 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 截面的沟槽,埋设排水盲管,东区纵坡比为 $1/100$,西区纵坡比为 $1/70$ (后期依据东区排水情况做出调整),接出坝坡的排水盲管需用土料回填并压实。随后,用砂石料填充排水盲管内部,防止管道被逐渐升高的坝体压断或者损坏。当埋设第二、三层波纹管时,待泥浆冲填停止后泥池表面能站住人再依次进行布设。

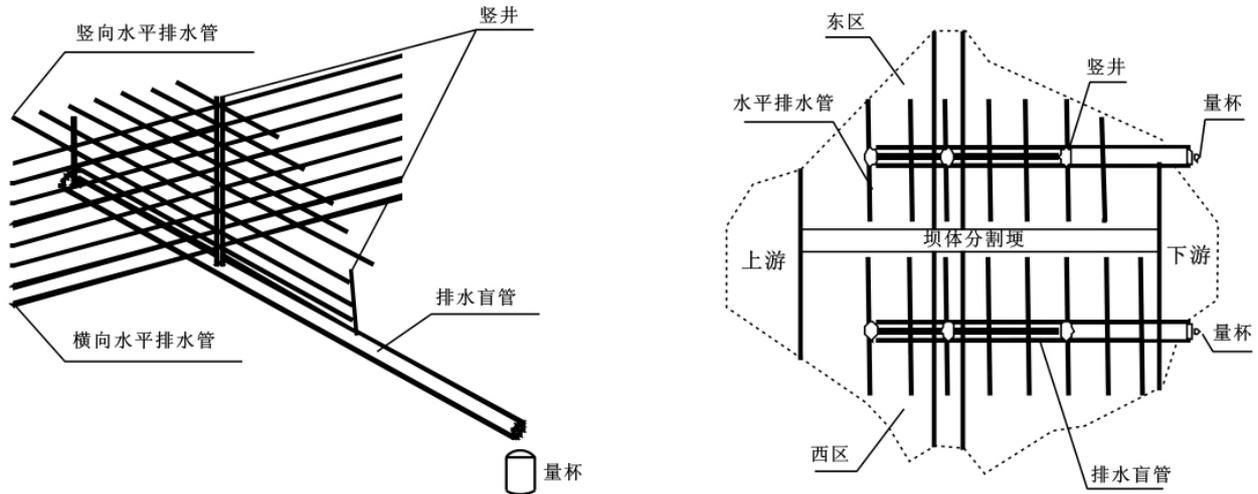


图1 聚乙烯微孔波纹管网状排水系统布设图

3 排水系统的排渗效果分析

3.1 坝体排水

现场筑坝坝体排水量采用量杯测定,根据坝体水分流满量杯的时间推算出坝体的排水量。本试验主要针对一次泥浆冲填结束后,坝体日排水量和泥浆含水率的变化进行分析。现场试验结果表明,停止泥浆冲填后,随着时间的推移,坝体排水量逐渐减小。最小日排水量为 4.55 m^3 ,最大为 5.96 m^3 ,坝体总体排水量较小,试验坝停工歇时7 d 之内的排水量变化呈递减趋势并趋于稳定。泥浆含水率(为体积含水率)随着时间的延长逐渐减小并趋于稳定且含水率变化不明显。这是因为土水拌合所成的泥浆中束缚水远大于自由水,水分很难排出;筑坝冲填土料为重粉质壤土,黏粒含量较高,土壤渗透性较差;泥浆冲填初期,灌浆的速度大,压应力则大,致使浆体的孔隙水压力减小速度大,孔隙中所含水分排出快,但随着时间的延长和坝体水分的排出,最下层浆体越来越致密,接近不透水层,坝体排水就此减缓;黏土细颗粒堵塞土工布滤水孔,造成排水管道排水不畅,抑制了坝体排水。

3.2 坝面排水

坝面排水是由于泥浆初始含水率较大,使得浆体表面排水除了蒸发外,一部分水则在泥浆表面形成液面,此时可采用抽吸法抽出水分并排出坝体。试验观测表明,坝面排水没有一定的规律性。每次泥浆冲填结束后,待坝面明水析出量较大时采用真空泵或潜水泵吸排,共抽吸总水量约为 30 m^3 ,随着时间的延长坝面总排水量也趋于较少。

3.3 坝体孔隙水压力消散试验和应力试验

土体是由固结颗粒、孔隙水以及空气组成的三相

集合体,外荷载在土体中产生的应力是通过颗粒间的接触来传递的。如果土体中的孔隙是相互连通而充满水,则孔隙中的水服从静水压力分布。这种由孔隙水传递的压力称为孔隙水压力,实践证明它随时间而消散^[18]。本筑坝试验中在坝基埋设孔隙水压力计和钢弦式土压力计来观测坝体孔隙水压力和压应力的变化。坝体孔隙水压力试验和应力试验在泥浆泵筑坝试验中的应用对提高试验精度和指导工程安全施工具有指导意义;利用观测数值可以拟合相关函数,用以控制泥浆拌合土水比例、填筑高度、冲填进度以及其它条件,指导泥浆坝安全顺利施工;它的应用还有助于分析坝体分层填筑过程中的稳定性等问题^[19]。

筑坝试验中由于泥浆冲填后,距离排水管网不同位置处的泥浆,所对应的孔隙水压力消散和土压力的变化情况是不同的。本研究仅针对一次泥浆冲填开始至结束共计12日之内,排水盲管、竖井与水平排水管交界处理设的孔隙水压力计和土压力计所测得的数据的变化和试验结果进行分析。由图2可知,在施工期坝体的孔隙水压力呈波动变化过程,但总体呈减小趋势,且变化幅度不大。10月24日第一次泥浆冲填,随着泥面的升高,孔隙水压力增大,随后停止泥浆冲填后孔隙水压力随即下降,到27日降至 0.00031 MPa 时随后趋于稳定。但随着时间的延长,坝体泥浆水分逐渐减少,孔隙水压力随之有稍有减小趋势。坝体应力的变化也较明显。泥浆冲填开始时土压力值为 0.02439 MPa ,停止冲填后,土压力值急剧减小到 0.02161 MPa ,随后逐渐趋于稳定。说明在泥浆冲填结束初期,泥浆含水率较大,孔隙比大,排水固结速度快,因此土压力值在短时间内骤减,但随着土体的逐步压密,孔隙比也随之减小,土体渗透性也相继降低,

排水固结速度变缓并趋于稳定,土压力变化也随之稳定。因此,孔隙水压力和土压力的变化状况反映了坝体脱水固结、有效应力增长变化的过程,也说明了人工管网排水系统在一定程度上加速了坝体的脱水固结,但效果不明显。

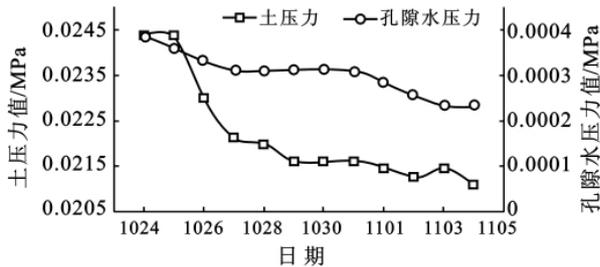


图 2 孔隙水压力消散与土压力变化

3.4 钻孔样的含水率变化

试验坝在第 3 次泥浆冲填结束后(距第一次泥浆冲填 20 d),对坝体下游边埂深层钻孔取样进行含水率(为重量含水率)分析。钻孔深度分别为 1.2 和 2 m,距泥浆池每隔 0.5 m 取点,共钻 12 个孔,取 36 个样。钻孔取样结果详见表 1。

表 1 钻孔样的含水率测定

孔号	钻孔深度/m	距泥浆池距离/cm	含水率/%
1	1.2	50	18.8
2	1.2	100	17.5
3	1.2	150	16.1
4	1.2	200	15.4
5	1.2	250	13.0
6	1.2	300	12.6
7	2.0	50	21.2
8	2.0	100	19.9
9	2.0	150	19.7
10	2.0	200	17.4
11	2.0	250	16.7
12	2.0	300	14.2

钻孔深度为 1.2 m 时,沿边埂宽度含水率逐渐减小,泥浆含水率由 18.8% 降至 12.6%;深度为 2 m 时,沿边埂宽度泥浆含水率从 21.2% 减小至 14.2%。随着钻孔深度的进一步增加,泥浆含水率有略微增大的趋势,但变化不大,说明随着时间的延长,浆体中的水分在自身重力的作用和上层浆体对其压力的作用下,逐渐向边埂深层渗透,但由于试验土料渗透性较差,外加立体网状排水系统对坝体水分的排减,故 1.2 与 2 m 处所测得的泥浆含水率变化不明显。由此可以说明,边埂在一定程度上对坝体泥浆的水分起到渗吸作用外,立体网状排水系统对坝体泥浆水分的排减

也增强了上、下游边埂对冲填泥浆的承受力,加速坝体的脱水固结,保证了坝体的安全与稳定。侧面反映了人工管网排水系统对整个坝体水分的排减具有一定的促进作用。另外,在施工期,监测人员密切巡视检查坝面各个部位的情况,发现裂缝及时做详细记载,研究相应措施。

4 结果

(1) 泥浆泵筑坝中采用聚乙烯微孔波纹管排水系统在陕西省尚属首例,具有施工方便、造价低廉,取代了砂井、砂沟和盲沟等传统的坝体排水设施,在缺乏砂石料的地区可被广泛推广。该排水技术在一定程度上加速了坝体的脱水固结,但由于目前对波纹管排水管道的合理布设缺乏相关的参考资料和经验,故还需加强对排水管结构合理布设的研究,考虑采用其它布设形式。

(2) 由孔隙水压力试验和应力试验分析结果可知,采用聚乙烯微孔波纹管人工管网排水系统布设模式虽可加快坝体孔隙水压力消散速度,增高坝体水平排水速率,减短坝体泥浆在施工期的脱水固结时间,但是其总体排渗效果不是很显著。再者,由于重粉质壤土黏粒含量较高,土工布滤水孔易被细小黏粒堵塞,影响排渗效果,因此,还应对排渗滤水材料做重点研究和筛选。

(3) 泥浆泵试验坝填筑土料及泥浆拌制土料透水性极差,加之,上坝泥浆含水量过高,致使坝体泥浆排水困难,固结缓慢,不能进行连续施工作业,使工程进度受到极大影响。而且波纹管在连续冲填施工时保持其稳定性比较困难,泥面上布设管道易被泥浆推弯、折断,需进一步研究改进。

(4) 重粉质壤土区泥浆泵筑坝还是一种新型筑坝工艺,尚处在探索和研究阶段。聚乙烯微孔波纹管人工管网排水系统也是首次在该类筑坝技术中采用,因此,需要在实践中不断总结经验,选取理想的管道滤水材料,合理设计排水管道的布设并完善排水设施,有效地解决泥浆的脱水固结问题。

[参 考 文 献]

- [1] 蔡小青,李应梅.水坠坝在丘陵山区的推广应用[J].青海科技,2004(3):40-41.
- [2] 程鲲鹏.土石坝工程的施工技术与质量控制[J].水利技术监督,2007(2):26-29.
- [3] 张慎强,朱首军,刘玉兰,等.重粉质壤土泥浆特性动态检测[J].安徽农业科学,2008,36(32):14202-14205.
- [4] 张慎强,朱首军,刘玉兰.重粉质黄土淤地筑坝特性研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):120-126.

- [5] 中华人民共和国水利部. SL237—1999 土工试验规程 [S]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
- [6] 中华人民共和国水利部. SL302—2004 水坠坝技术规范 [S]. 北京:中国水利水电出版社,2004:125.
- [7] 陈跃,刘金柱,邢焕政.安沟水坠坝新型固结排水措施效果分析[J].海河水利,2006(4):58-59.
- [8] 程海波,王永艳.软地基处理中袋装砂井施工工艺[J].内蒙古公路与运输,2001(4):20-21.
- [9] Zhang Shenqiang, Zhu Shoujun, Liu Yulan, et al. Dynamic monitoring of the mud [J]. Agricultural Science & Technology 2008 9(4):112-117.
- [10] Zhong Denghua, Gui Bo, Liu Donghai, et al. Theoretical research on construction quality real-time monitoring and system integration of core rockfill dam [J]. Science in China(E): Technological Sciences, 2009 52(11):3406.
- [11] 吴祥林.聚乙烯微孔波纹管排水系统在播山沟水坠坝施工中的应用研究[J].中国水土保持,1996(12):36-39 43.
- [12] 汤茗辉,曹善和,刘振声等.阳洼水坠坝聚乙烯微孔波纹管排渗试验研究[J].中国水土保持,1992(6):24-29.
- [13] 王启睿,史海荣,梁振科等.聚乙烯微孔波纹管在堡子沟水坠坝排渗中的应用及效果[J].中国水土保持,1994(3):25-27 32.
- [14] 谢飙,王海宁,马良军.高黏粒黄土地区水坠坝应用聚乙烯微孔波纹管技术研究[J].青海科技,2001(3):40-43.
- [15] 王伟,杨尧志.土工织物与微孔波纹管网状排水系统分析[J].江南学院学报,2000(2):64-68.
- [16] 赵昌军,杨瑞卿,崔峰等.高黏土地区水坠坝立体网状排水技术研究[J].中国水土保持,2001(11):18-19,25.
- [17] 方云,谭松林,林彤.土力学[M].武汉:中国地质大学出版社,2003:66-77.
- [18] 张慧,曹力桥,方云等.孔隙水压力消散试验在尾矿坝安全施工中的应用[J].安全与环境工程,2006,13(2):76-79.
- [19] 张晨,张广超,顾亮.黏性土的孔隙水压力消散试验与模型试验的研究[J].科学技术与工程,2008,8(8):2202-2205,2233.

(上接第126页)

[参考文献]

- [1] 王静宇,袁希平,甘淑.基于GIS技术的县域耕地地力评价:以云南省寻甸县为例[J].昆明理工大学学报:理工版,2008,33(3):1-6.
- [2] 杨奇勇,杨劲松,姚荣江等.基于GIS和改进灰色关联模型的土壤肥力评价[J].农业工程学报,2010,26(3):100-105.
- [3] 张海涛,周勇,汪善勤等.利用GIS和RS资料及层次分析法综合评价江汉平原后湖地区耕地自然地力[J].农业工程学报,2003,19(2):219-223.
- [4] 任家强,汪景宽,李双异等.辽西阜蒙县耕地地力定量评价研究[J].土壤通报,2010,41(6):1294-1298.
- [5] 马建军,李青丰,张树礼.灰色关联分析在黑岱沟露天煤矿土壤质量评价中的应用[J].干旱区资源与环境,2007,21(7):125-129.
- [6] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,1999:90-99.
- [7] 刘京,常庆瑞,陈涛等.黄土高原南缘土石山区耕地地力评价研究[J].中国生态农业学报,2010,18(2):229-234.
- [8] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1987.
- [9] 王璐,张俊平,王长委等.基于灰色关联度的耕地定级评价实证分析[J].安徽农业科学,2009,37(16):7594-7596.
- [10] 庄锁法.基于层次分析法的综合评价模型[J].合肥工业大学学报,2000,23(4):582-590.
- [11] 李月芬,汤洁,李艳梅.用主成分分析和灰色关联度分析评价草原土壤质量[J].世界地质,2004,23(2):169-174.
- [12] 朱国宇,黄川友,华国春.层次分析法在水环境规划中的应用[J].东北水利水电,2003,21(4):1-7.
- [13] 刘思峰,郭天榜,党耀国等.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2000:47-48.
- [14] 韩春建,梁朝信,吴克宁等.基于GIS技术的灰色关联度法土壤肥力综合评价[J].农业工程学报,2008,24(S1):53-56.