

# 半干旱区生态水箱式道路雨洪资源 蓄集利用系统技术研究

高雅玉, 张新民, 田晋华

(甘肃省水土保持科学研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** [目的] 对生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统技术进行研究, 为实现道路雨水收集再利用、有效提高收集雨水水质, 也为绿化植物的生长提供优良的水源目标。[方法] 生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统采用聚丙烯(PP)塑料雨水收集模块充分储存水源, 为后续系统的“自由呼吸”提供基础。PP 雨水收集模块的孔隙率为 90%~95%, 并采取双层土工布和防水膜的分层布设进行防渗, 种植土和绿化植物设施采用 30 cm 的种植土厚度, 保证了雨水资源的集蓄和供给的动态平衡。[结果] 生态水箱系统具有水资源集蓄、供给动态平衡调整功能和截污功能, 可高效集蓄路面优质雨水和有效控制雨水对土壤及地下水的污染。[结论] 该系统为雨水的高效再利用提供了条件和新方法, 为区域雨洪资源高效管理利用提供了新途径。

**关键词:** 生态水箱; 道路雨洪资源; 集蓄利用; 高效管理; 半干旱区

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2017)02-0188-05

**中图分类号:** S273.1, S157

**文献参数:** 高雅玉, 张新民, 田晋华. 半干旱区生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统技术研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2):188-192. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.029; Gao Yayu, Zhang Xinmin, Tian Jinhua. Technical Research of Ecological Water Tank Catchment and Utilization System of Road Rainwater Resources in Semi-arid Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2):188-192. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.029

## Technical Research of Ecological Water Tank Catchment and Utilization System of Road Rainwater Resources in Semi-arid Region

GAO Yayu, ZHANG Xinmin, TIAN Jinhua

(Gansu Institute of Soil & Water Conservation Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** [Objective] Ecological water tank catchment and utilization system of road rainwater resources was demonstrated to give some guidances of the collection and recycling of road rainwater and of effectively improving the collection rainwater quality. This was also helpful for providing excellent water sources for greening plant growth. [Methods] The system's was used as water storage facilities, which can provide the basis for follow-up system of “free breathing”. The porosity of polypropylene plastic rainwater collection module was 90%~95%. And the impervious facilities laid stratified double geotextile and waterproof membrane. In which, 30 cm thickness filled-in soil can sufficiently ensure the dynamic equilibrium between catchment and supply of the rainwater resources. [Results] Ecological water tank system has the functions of dynamic equilibrium adjustment of water resources catchment and supply, and sewage interception as well. It can efficiently collect high-quality rainwater on the road, and effectively control the pollution of soil and groundwater caused by rainwater. [Conclusion] This system can also provided the conditions and new approaches for efficient recycling of rainwater resources and provides a new way for efficient management and use of regional rainwater resources.

**Keywords:** ecological water tank; roads rainwater resources; catchment use; efficient management; semi-arid region

收稿日期: 2015-07-22

修回日期: 2015-09-24

资助项目: 陇原青年创新人才扶持计划项目“陇东地区雨洪管理及水土保持工程雨洪利用技术研究”(甘组通字[2014]93号); 甘肃省科技厅重大专项(1203FKDA035); 甘肃省水利科研技术推广项目(甘水科外发[2013]293号; [2014]223号; [2015]55号); 甘肃省科技支撑计划项目(1204NKCA087); 甘肃省水利厅水资源费项目(甘财农[2010]162号)

第一作者: 高雅玉(1985—), 女(汉族), 天津市人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事水资源与水土保持方面的研究。E-mail: gaoyayu19851231@163.com。

地处半干旱地区的甘肃省降水年际变化大且有连续丰水、枯水年的现象,年内分配极不均衡,常发生洪涝灾害和旱灾。暴雨天气主要集中在夏秋两季,尤其是 7、8 月洪峰量大、且陡涨陡落,对生态环境及人类生存极易造成危害。区内的雨洪资源利用长期存在以下难题,一是水资源总量极端贫乏;二是河川径流年际年内分配不均,常水流量小,洪水流量大;三是部分地区为水质矿化度高,干流全河段水质差,难以利用。

雨洪资源利用是指通过自然过程或人类活动过程对天然降水进行收集和利用的过程,包括雨洪资源自然利用和雨洪资源蓄集利用 2 个方面。雨洪资源自然利用是指天然降水未受到人工干预,自然降入下垫面,通过土壤入渗直接被植物吸收利用的过程<sup>[1]</sup>。雨洪资源蓄集利用是指采取工程措施对雨洪水进行收集、蓄存和调节利用的水利工程。雨水、洪水资源蓄集利用等工程在人类发展历史上源远流长,其主要是使用工程措施高效集流、蓄水对雨洪资源进行调控,以便能够更加高效地实现雨洪的资源化,并进行后续利用,实现资源的可持续、高效循环发展<sup>[2]</sup>。按照供水、用水户的不同,雨洪资源的蓄集利用可以分为农业雨洪蓄集利用和城镇雨洪蓄集利用 2 个部分<sup>[3]</sup>。城镇道路及建筑物周围大多是不渗水的地面结构,为美化城镇,在道路中央、边坡、服务区等区域设置绿化区。“水”是公路中央分隔带、边坡、服务区等绿化区植物生长所必需的,如果没有水灌溉,植物将不可能成活,公路生态景观美化等绿化工程更无法实现,而另一方面“水”又是公路诸多病害的直接和间接诱因,水是危害公路安全、产生水毁病害的主要自然因素,到了雨季,大量的雨水诱发了一系列诸如路基沉陷、冲刷、坍塌、翻浆以及路面松散、剥落、龟裂、错台、断裂等公路病害。协调好水资源在绿化需水和公路水毁的矛盾,是我们必须面对且急需解决的问题,对于建立半干旱区水资源持续利用、经济社会可持续发展的区域开发治理与管理模式意义重大。

## 1 常用道路雨水生态收集利用措施

目前,使用较为普遍的道路雨水生态收集利用措施主要有:下凹式绿地、渗透式植被潜沟、排渗一体化系统和生态边沟系统等措施。

### 1.1 下凹式绿地

下凹式绿地是指绿地低于周边地面的绿地,使周围地面径流流入其中,利用绿地良好的入渗性能增加入渗量,减少排水。该系统由绿地、建筑、硬化路面、排水系统 4 大要素共同构成,绿地在其中占据核心地

位。其竖向设计格局为:绿地在整个系统中的高程最低,建筑及路面等硬化面的高程高于绿地,排水系统设置在绿地中,设置高程低于硬化路面但高于绿地。下凹式绿地的储渗能力的主要影响因素是土壤的入渗率。入渗速率过大容易造成雨水在到达地下水区之前没有足够的停留时间得到净化,入渗速率过小使集蓄在绿地内的雨水停留时间过长,在渗透区出现厌氧环境,而长时间的厌氧环境对绿地植物和微生物的截留转化都是有害的<sup>[4-5]</sup>。

### 1.2 渗透式植被浅沟

渗透式植被浅沟主要设置在建筑物及围墙间面积狭小地带,集水区面积相对下凹式绿地较小。在服务区围墙和建筑物、道路之间较小回水流域,可与场地排水系统构成一个整体,还可以部分或全部替代小范围的雨水管系。渗透式植被浅沟可以起到的渗滤雨水的作用,通过重力流收集处理径流雨水。当雨水流经植草排水沟时,在沉淀、过滤、渗透、吸收及生物降解等共同作用下,径流中的部分污染物得到去除,达到削减径流水量和径流污染控制的目的。它是一种生态型的雨水收集、输送和净化措施。渗透式植草排水沟适合地下水水位相对较低的地区选用。由于渗透式排水沟输送径流的能力受到土壤渗透力的影响,因此集水区面积不宜太大<sup>[6]</sup>。

### 1.3 渗排一体化系统

渗排一体化系统是采用渗透管、渗透检查井等设施,兼具雨水渗透、储存、收集、排放多重功效,是一种综合性雨水利用设施。渗排一体化系统与传统的雨水排放系统相比其设计的原则是完全不同的,传统的雨水排放系统是收集雨水后尽快的排入市政管网,而渗排一体化系统是利用其中的渗透、截留调蓄能力,尽量消减雨水量、补充地下水,实现雨水的资源化及综合利用、节约用水,同时可以消减雨水洪峰能力,减缓市政排水压力,优化区域的生态环境。系统中的雨水分为 3 个部分:(1)通过渗透管及渗透检查井入渗;(2)储存在周围砂石层、渗透管及渗透检查内;(3)雨水量较大超出储存容积及渗透能力后从系统中排出至雨水处理、贮水装置及回用系统<sup>[5]</sup>。

### 1.4 生态边沟

生态边沟是将原来的浆砌边沟及边坡碎落台、部分土路肩合并,设置成一种浅碟型的明沟,在沟底平铺石料、石渣,设置渗水盲管,上覆土工布、回填土、种植草皮、喷播植草防护,从而起到了排水与环保绿化的作用。公路通过设置浅碟形植草生态边沟,一方面可以让高速公路排水与雨水处理相结合,使地下水和径流及时排走,在输水排水的过程中,通过植被的作用对

径流进行处理,既做到了排水增加路基的稳定性和路面的耐久性,又满足了路面径流水质处理的需求,另一方面浅碟形生态边沟在满足排水功能的前提下,增加了生态和环保功能,提高了行车的安全性和舒适性<sup>[6]</sup>。

上述雨洪资源收集利用生态系统虽然解决了雨水收集的部分问题,但存在的主要问题有:(1)雨水由绿化带渗入路基而造成部分路基损毁;(2)污染物随雨水入渗,污染地下水;(3)雨水污染物无法去除,雨水水质不能达到植物正常生长的要求;(4)在降水量较大时,雨水无法迅速排除;(5)投入较大,对于半干旱地区的适应性较差;(6)整个收集系统投入运行之后不能达到动态的平衡,运行后期需要较多的管理手段,后续需要的调试措施较多。

## 2 生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统技术

针对传统公路雨水收集系统,“生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统”克服了传统雨洪资源收集利用系统地缺点,系统模拟了原生的“地下水地表水相互补给、转化供给植物生长”、自由调节的收集利用公路原本浪费流失的水资源,用于植物的绿化灌溉,有效的解决了损毁路基、污染地下水的问题,投入和风险较低,为区域经济发展水资源保障提供技术支撑,为区域雨洪资源高效管理利用提供了新途径<sup>[7-8]</sup>。

### 2.1 生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统工作流程

“生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统”是一种设置在道路中央和边缘的能将雨水储存和生态利用的蓄集利用系统。根据半干旱区的气候特征、土壤特点、地形地貌特征,在原有城镇道路的基础之上,克服了现有技术中存在的不足,提供了一种自动调整水资源蓄集与供给的动态平衡方式,省去后续的调试麻烦、最大限度地低成本、高效率地收集公路路面雨水,而且能够保证所收集的雨水具有较高的水质,与此同时,有效地防止了雨水由绿化带渗入而造成的路基损毁问题,为实现公路雨洪资源高效、优质、低价再利用提供了可能。生态水箱技术为我单位知识产权所有专利技术,在选择适宜的上部植物情况下,可现在我所科技示范园区扩大规模试点示范,待调试至稳定之后(使用年限为 30 a)可进行大规模推广应用,推广应用前景广阔。

如图 1 所示,生态水箱式城镇道路雨水蓄集利用系统设置于城镇道路的中间和边缘,底部土层夯实。雨水通过拦污栅进行初步净化,净化后的雨水进入储水装置,储水装置将雨水储存,由于种植土的毛管作

用吸收利用储水装置中的水,完成了雨水的高效蓄集和利用。系统模拟了天然地下水储水环境以及地表水与地下水相互转化的动态平衡机制,最终达到雨水自动蓄集、供给绿化植物生长的动态平衡模式。路面雨水通过路面 1%~1.5% 的自然坡度到达拦污设施处,通过拦污栅,隔离了雨水中的污染物,优质的雨水通过蓄水通道进入聚丙烯(PP)塑料雨水收集模块将雨水储存,雨水在收集模块中相当于是地下水潜水层,再通过上层种植土的毛管作用供给植物生长,达到自动供给植物需水的目的。根据道路雨水资源的水质特点,生态水箱系统中的拦污栅可隔离雨水中的树叶、垃圾、油类和悬浮固体等初期污染物,经过拦污栅、进水通道之后进入储水设施的雨水得到第 1 次净化,储水设施中的雨水资源再通过上部种植土的毛管作用再次到达植物根系的雨水又得到第 2 次净化,经检测,道路雨水水质污染指标的最大值可达到  $COD=412\text{ mg/l}$ ,  $BOD_5=72\text{ mg/l}$ ,  $SS=813\text{ mmol/l}$ ,通过 2 次物理净化后的雨水水质经估算污染物指标可减少 45% 以上,说明两次物理净化后的雨水资源可完全满足上部植物生长的水质需求。

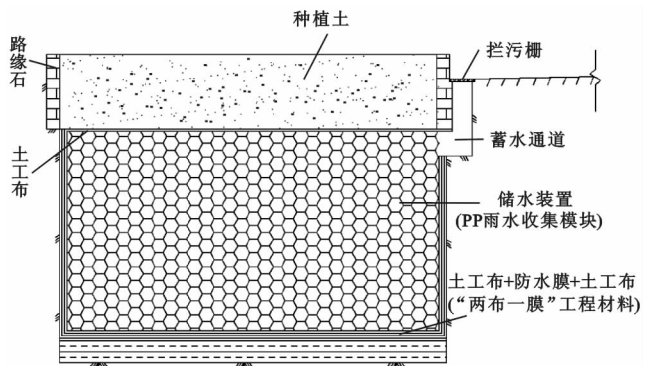


图 1 生态水箱系统工作流程图

### 2.2 生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统技术内容

生态水箱式道路雨水蓄集利用系统设置在道路中央和边缘,并优选道路远高低呈 1%~1.5% 的自然坡度。生态水箱式道路雨水蓄集利用系统(图 2)底部土层夯实,并在其上设置储水装置,储水装置的底面和侧面由内到外依次铺设一层土工布、防水膜和土工布(或直接购买“两布一膜”整体性工程材料进行铺设),储水装置上方设置有种植土,种植土和储水装置之间铺设有一层土工布,储水装置采用 PP 塑料雨水收集模块储水,它的孔洞可储存雨水,拦污栅采用钢制结构与路面平齐,方便清洁并利用路面的坡度将雨水导入拦污栅处。拦污栅与储水装置之间通过蓄水通道连接,蓄水通道入口为矩形或者正方形,结合路面实际径流量,间隔一定距离布设,采用混凝土

或砖砌结构均可。种植土的侧面砌筑有路缘石。路面上的雨水可通过其他途径被消耗,大部分雨水通过拦污栅,隔离了雨水中的污染物,优质的雨水通过蓄水通道进入 PP 塑料雨水收集模块将雨水储存,雨水在收集模块中相当于是地下潜水层,再通过上层种植土的毛管作用供给植物生长,达到自动供给植物需水的目的,降雨量大,PP 塑料雨水收集模块蓄满水后,由于生态水箱式道路雨水蓄集利用系统比路面高出 10 cm,雨水可通过路面排水设施排出,不会对生态水箱式道路雨水蓄集利用系统造成破坏,保证了其抗冲击能力和运行的稳定性。

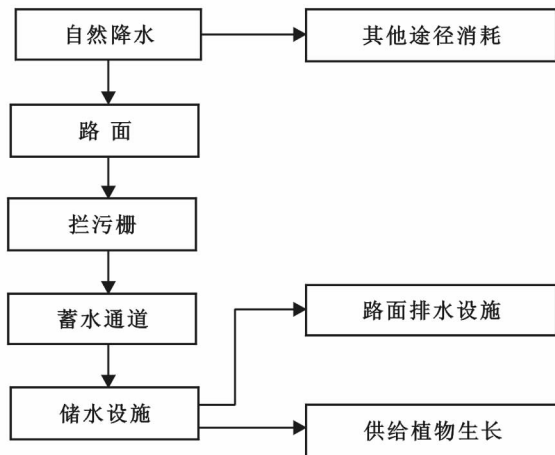


图 2 生态水箱系统结构图

储水装置为 PP 塑料雨水收集模块,它具有良好的抗压性能,可有效增长生态水箱系统的使用寿命。PP 塑料雨水收集模块空隙率为 90%~95%,储水空间较大,可以充分的储存水源,通过上层种植土的毛管作用将储水装置中储存的水资源根据植物需水情况进行供给,为后续生态水箱系统的“自由呼吸”提供基础;且不受微生物、细菌和沥青等物的影响,是一种良好的储水设施。PP 雨水收集模块(材质为再生环保聚丙烯)具有良好的耐寒、耐热性能,耐温范围为 -30~120 ℃,承重为 22~55 t/m<sup>2</sup>,可充分适应半干旱区的极端气候条件。在储水装置和上层种植土之间铺设一层土工布,防止上层种植土散落入储水装置,且不影响种植土的毛管作用,同时,克服了储水装置内部的泥沙淤积问题,有效防止了储水装置中的泥沙淤积。储存了优质雨水的储水装置,在无降水的干旱时候可通过种植土的毛管作用向上面种植的绿化植物供水,自己调节供水量,达到雨水蓄集和利用的动态平衡和自动调整,省去了绿化植物的灌溉耗水,尤其在半干旱地区,降雨量分配不均,且常以暴雨的形式出现的气候,生态水箱式道路雨水蓄集利用系统

的优势和实用性就显得尤为明显。生态水箱系统建成经过调试正常运行后,可根据植物的需水情况自动补给,免去了后续灌溉维护的工作,在后期仅需少量人工对水箱系统的拦污栅表面污染物进行清除即可。

### 2.3 生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统技术效益分析

生态水箱系统具有良好的生态和经济效益。系统的主要材料为:PP 雨水收集模块、土工膜、“两布一膜”工程材料、钢制拦污栅、种植土和混凝土,材料除 PP 雨水收集模块之外,都为常见普通、费用较低的材料,造价较低。为了进一步降低水箱的造价,系统的实际施工尺寸可根据安装地点的降水量和公路路面的集水面积具体确定,主要为调整内部储水设施的体积大小,使储水设施的体积达到刚好蓄满的情况,有效减少 PP 雨水收集模块地使用量,最大限度地发挥其经济效益。生态水箱系统的安装施工工艺较为简单和容易实现,只需在路面两侧(或单侧)开挖矩形槽即可;水箱上部的种植植物可根据实际安装地点的气候和地形条件灵活选用成活率高、公路景观性优的植物进行栽植。水箱系统利用收集到的优质雨水按照作物实际需水量、通过自身的毛细管作用供水,可省去灌溉用水和后期的复杂管护费用,一经建成调试使用之后,便可自运行,造价和维护费用明显低于同类型产品,且利用了本难以利用的雨洪资源。与此同时,项目组还在积极研发更为优质的储水材料,将大幅度降低生态水箱的造价和提高其适用性。

### 2.4 生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统技术的优越性

生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统通过浮渣隔离装置、储水设施、防渗设施以及种植土和绿化植物等设施完成了道路雨洪资源的高效管理、收集和利用。与传统的雨洪资源收集设施相比较,其优势在于:(1)“生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统”模拟地下水与地表水相互补给的原理,利用种植土的毛管作用将收集到的雨水资源进行集蓄和利用,系统具有自由调节的功能,可实现蓄和用的自由呼吸,可免去后续人工调试的麻烦。(2)整个生态水箱系统的外侧采取双层土工布和防水膜的分层布设,可有效解决雨水由绿化带渗入而造成的路基损毁的问题。(3)生态水箱系统采用的拦污措施和防渗措施可充分保证集蓄的雨水的水质,并防止污染物随雨水入渗污染地下水的情况。(4)系统采用的储水填充物为 PP 塑料雨水收集模块,具有良好的抗压性能,可有效增长生态水箱系统的使用寿命。(5)生态水箱系统

在设计过程中高出路基大约 10 cm,即使是在较大降水量的情况下,依然排水顺畅,可有效解决排水不畅的问题。(6)生态水箱系统可根据半干旱区的气候和土壤情况,选择合适的树、草种,投入较小、适应性较强。

### 3 结论

生态水箱式道路雨洪资源蓄集利用系统根据半干旱区的气候特征、土壤特点、地形地貌特征,在原有城镇道路的基础之上,实现了公路雨水收集再利用和种植植物需水、供水的动态平衡,主要包括浮渣隔离装置、储水设施、防渗设施以及种植土和绿化植物等设施。在储水设施上设计浮渣隔离装置,能控制路面带来的树叶、垃圾、油类和悬浮固体等污染物,能有效提高收集雨水的水质,为绿化植物的生长提供优良的水源。储水设施采用 PP 塑料雨水收集模块为填充物,具有良好的抗压性能,可有效增长生态水箱系统的使用寿命,空隙率为 90%~95%,储水空间较大,可以充分的储存水源,为绿化植物的生长提供充足的水源,为后续生态水箱系统的“自由呼吸”提供基础。防渗设施采取双层土工布和防水膜的分层布设,可有效解决雨水由绿化带渗入而造成的路基损毁以及污染地下水的问题。种植土和绿化植物设施,采用 30 cm 的种植土厚度,有效保证了绿化植物和储水设施间的“自由呼吸”,保证了雨水资源的蓄集和供给的动态平衡,与此同时,选择适宜当地气候的绿化植物提

高植物的存活率和适应性。生态水箱系统具有“自由呼吸”的水资源蓄集、供给动态调整平衡功能、截污功能和高效集蓄路面优质雨水的功能,为控制雨水对土壤及地下水的污染、实现雨水的高效再利用提供了条件和新的方法,在低投入、低风险情况下,提高了半干旱区的水、土资源利用效益和对经济社会发展的支撑能力,为全面建设生态文明区域奠定了基础,为区域雨洪资源高效管理利用提供了新途径。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张新燕,蔡焕杰. 雨水集蓄利用研究进展[J]. 干旱区资源与环境,2001,15(S1):87-90.
- [2] 王希,康璇,王秀茹,等. 雨水集蓄利用工程研究:以黄土岗雨水集蓄利用工程为例[J]. 湖南农业科学,2011(9):70-74.
- [3] 李勇,王超,朱亮,等. 雨水集蓄利用的环境效应及研究展望[J]. 水土保持研究,2002,9(4):18-20.
- [4] 厉晶晶. 雨水收集利用系统关键技术及工程示范研究[D]. 江苏镇江:江苏大学,2010:12-16.
- [5] 李鹏飞. 高速公路服务区雨水利用技术研究:以信阳高速公路服务区为研究实例[D]. 陕西西安:长安大学,2011:20-28.
- [6] 黄焕存. 高速公路循环水利用系统关键技术研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2012:21-24.
- [7] 侯俊丽. 高速公路中央绿化带智能微灌绿化技术研究:以保腾高速为例[D]. 重庆:重庆交通大学,2013:36-42.
- [8] 张和平,郑福焱,陈葵. 共青生态小区雨水资源化系统规划设计[J]. 环境科学与技术,2012,12(35):282-283.
- [14] 张悦,宋戈. 城市土地利用系统健康评价:以哈尔滨市为例[J]. 城市问题,2013(12):26-31.
- [15] 洪惠坤,廖和平,魏朝富,等. 基于改进 TOPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价[J]. 生态学报,2015,35(24):8016-8027.
- [16] 张小虎,赵素霞,郭增长,等. 煤炭资源枯竭型城市土地利用系统健康评价:以焦作市为例[J]. 农业现代化研究,2013,34(3):343-347.
- [17] 王菲. 基于物元分析法的农村土地健康评价[D]. 湖北武汉:华中农业大学,2012.
- [18] 许实,王庆日,谭永忠,等. 中国土地市场化程度的时空差异特征研究[J]. 中国土地科学,2012,26(12):27-34.
- [19] 刘思峰,方志耕,杨英杰. 两阶段灰色综合测度决策模型与三角白化权函数的改进[J]. 控制与决策,2014,29(7):1232-1238.
- [20] 刘思峰,谢乃明. 基于改进三角白化权函数的灰评估新方法[J]. 系统工程学报,2011,26(2):244-250.
- [21] 大庆市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要[OL]. (2011-10-15) [2016-04-20]. <http://www.daqing.gov.cn/zfgw/szfwj/212058.shtml>.

(上接第 187 页)