

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2017.01.012

# 边远海岛水资源开发利用模式研究

陈竿舟, 李 博

(浙江省水利水电勘测设计院, 浙江 杭州 310002)

**摘要:**以舟山群岛为研究对象,通过分析海岛水资源特点及开发利用现状,探讨海岛地区水资源开发利用模式,提出了以保供水为主,结合防洪水、排涝水、抓节水、治污水的综合性开发利用模式——all in use(AIU)模式。针对用水需求年内变幅明显、水面蒸发量大、生态环境保护要求高的边远海岛,提出了以地下水库为存储空间,以截洪沟拦截汇水,以竖井收集来水的开发利用模式,最大限度地利用天然径流,形成水资源高效利用体系。

**关键词:**边远海岛;水资源;综合性开发利用模式;舟山群岛

中图分类号:TV213.9

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2017)01-0057-05

## Study of water resources exploitation and utilization model for remote islands

CHEN Yuzhou, LI Bo

(Zhejiang Design Institute of Water Conservancy and Hydro-Electric Power, Hangzhou 310002, China)

**Abstract:** Using the Zhoushan Archipelago as the study area, we investigated the status of exploitation and utilization of water resources of the islands through analysis of the characteristics and current status of the water resources. We put forward a comprehensive exploitation and utilization model called AIU (all in use), which focuses on water supply and involves flood control, drainage, water conservation, and water pollution control. Considering the fluctuation of water demands over a year, the large amount of evaporation from the water surface, and the high requirements of environmental protection on remote islands, we developed a high-efficiency water utilization system, which uses reservoirs as the storage space, intercepts catchment runoff with an intercepting trench, and collects water with shafts, in order to make the most of natural runoff.

**Key words:** remote islands; water resources; comprehensive exploitation and utilization model; Zhoushan Archipelago

浙江省是全国海洋经济发展试点省份之一,拥有全国20%以上的海岸线和43%的岛屿,海洋资源优势显著,其中尤以舟山群岛最为突出。舟山群岛拥有港口、航道、锚地、旅游、滩涂等众多优质资源,是我国首个以海洋经济为主题的国家战略层面新区,肩负着探索国家海洋经济发展路径的历史责任。受自然条件的限制,舟山群岛无过境客水,淡水资源极为紧缺,属于资源性缺水地区,水资源问题一定程度上制约着舟山群岛新区“三大战略定位”和“五大发展目标”的实现。

本文以舟山群岛为研究对象,探讨海岛地区水

资源开发利用模式,以期为实现水资源可持续利用提供支持,支撑舟山群岛新区经济社会可持续发展,也为同类型海岛的水资源开发利用提供参考。

## 1 海岛水资源特点及开发利用现状

### 1.1 海岛水资源特点

淡水资源是海岛自然资源的重要组成部分,更是开发海岛其他自然资源和开发海洋、发展海岛经济的基础保障。海岛淡水资源主要有4个特点:①降水少,蒸发多,径流形成少。舟山群岛年平均降水量较同纬度大陆地区少70~500 mm,多年平均水

面蒸发量(以 E601 型水面蒸发器观测值为准)较同纬度大陆地区大 100 ~ 300 mm, 多年平均年径流深较同纬度大陆地区少 44%<sup>[1]</sup>。②水资源年际变化幅度大, 年内分配不均。实测最丰年降水量是最枯年的 3 倍, 且有连续丰水年和连续枯水年。每年有 2 个主要的集中降水期, 其中 4—7 月的梅雨期, 降水量一般占全年 35% ~ 40%, 7 月中下旬到 10 月的台风期, 降水量一般占全年 35% ~ 45%。③地形地貌特殊, 径流利用困难。舟山群岛多为低丘陵山地, 一丘一岬地形, 且大多呈浑圆状, 产生的径流向四周扩散, 表现为分散的小流域特征, 较难形成有效汇集利用, 水资源缺乏集中开发利用价值。④地下水赋存条件差, 资源贫乏。舟山群岛主要为中生代火山活动产物及古老变质岩系构成的丘陵, 风化层不发育, 土壤覆盖浅, 植被稀疏, 岩石坚硬, 地面切割微弱, 裂隙不发育, 地下水赋存条件较差, 一遇连续干旱, 随地表水的干涸地下水迅速枯竭。

## 1.2 开发利用现状

舟山群岛已建中型水库 1 座, 小型水库 209 座, 山塘 1 003 座, 现有水利工程总蓄水量达到 15 730 万 m<sup>3</sup>, 是供水、灌溉、水产养殖等的主要水源。建成的大陆引水一期、二期工程, 总引水规模 3.8 m<sup>3</sup>/s, 年均引水量达 8 160 万 m<sup>3</sup>, 是迄今为止世界上最大的跨海输水工程<sup>[2]</sup>。共建成了 11 座海水淡化厂, 总规模达到 5.35 万 t/d, 淡化海水使用量占供水比例正在逐渐增加<sup>[3]</sup>。此外, 舟山群岛还有部分雨水利用及中水回用, 作为主供水源的补充。按常住人口计, 目前舟山群岛的人均年用水量约为 122 m<sup>3</sup>, 较 2005 年减少了 16 m<sup>3</sup>, 是北京市平均水平的 62%。现状用水指标远低于浙江省及全国的平均水平, 对比先进国家的用水指标, 仍有提升空间。

## 2 海岛水资源开发利用模式

海岛缺水地区的水资源利用首先要落实最严格水资源管理制度, 在控制用水总量和提高用水效率的前提下, 通过合理开发、科学调度, 满足最基本的用水需求。海岛水资源开发利用模式按区域可分为本地水资源开发利用和外流域引调水利用 2 类。其中本地水资源开发利用应用于大部分边远海岛, 根据开发利用方式的不同又可细分为地表水、地下水和非常规水 3 种。外流域引调水利用则根据海岛的地理位置、海底地形以及洋流条件等多方面因素, 一般应用于距离大陆较近的海岛地区。由于外流域引调水受自然地理因素制约, 应用范围受到一定局限, 因此本地水资源开发利用是海岛地区应用最广泛的方式, 本文以本地水资源开发利用模式为研究重点。

### 2.1 本地水资源开发利用模式

#### 2.1.1 地表水资源开发利用

舟山群岛现有蓄水工程主要以水库、山塘为主, 约占总蓄水量的 90%。这些蓄水工程量大面广、星罗棋布, 是群岛新区主要供水水源。据统计, 每 1 km<sup>2</sup> 不到的陆地上至少有 1 座水库或山塘。现有水库山塘为本地区日常用水提供了一定保障, 但同时也存在着许多问题, 其中管理维护和防汛调度问题尤为突出。

这样一种遍地开花的水资源开发利用方式尚属较初级的开发阶段, 随着社会经济的发展和人民生活水平的提高, 对水资源的需求日益增大, 亟须寻求一种更科学合理的水资源开发利用模式, 来保障全社会不断增长的用水需求。

本文提出一种具有海岛特色的水资源保护和开发利用模式——all in use(AIU)模式, 即对区域降水能收尽收, 对区域来水能用则用, 从而实现水资源利用的最大化。AIU 模式在不同类型的海岛有着不同的表现形式, 基本包含 4 个要素: ①存储空间。存储空间的主要功能是实现水资源集中存储, 统一调配。从表现形式上可分为地表和地下 2 种, 地表即为山岬型水库, 地下即为坑道型水库。存储空间必须有较大的调节库容, 以增加蓄水容积, 山岬型水库同时需要一定蓄水深度, 以减少水面蒸发。②汇水网络。汇水网络同样有 2 种表现形式, 分别为河网和管网。河网形式较为常见, 其主要功能是汇集流域来水, 要求河道纵横成网, 主次分明, 以支流河道汇集各山岬来水, 以骨干河道排蓄来水。平原河网不但具有防洪排涝功能, 同时也能兼顾调蓄水资源的功能。管网功能则与河网相似, 管网利用人工设施(如雨水井)汇水, 位于地下, 在一些发达国家城市有应用案例。③调蓄区域。调蓄区域的主要功能是作为大容量存储空间的调蓄前池, 一般位于流域下游, 靠近汇水网络布置。通过与汇水网络的协调联通, 收集由河网或管网汇集的流域弃水, 最终为大容量存储空间提供水量。调蓄区域应规模适中, 过大不仅占用土地多, 且水面蒸发量大, 过小则起不到调节来水的作用。同时, 调蓄区域可结合生态湿地、景观湖泊、低洼绿地等多种形式得以实现, 从而达到综合利用的功效。④供水设施。供水设施主要围绕存储空间布置, 目前海岛城市的供水设施大都较为分散, 且互不联网, 因此供水保证率也相对较低。笔者建议今后的供水设施逐步由目前的分散式向集聚式转变, 为供水联合调度奠定基础。

AIU 模式中的 4 个要素彼此间存在密切联系, 通过河道、管道、隧洞、泵站等工程措施, 能使其相互关

联,最终形成综合性水资源开发利用体系,见图1。

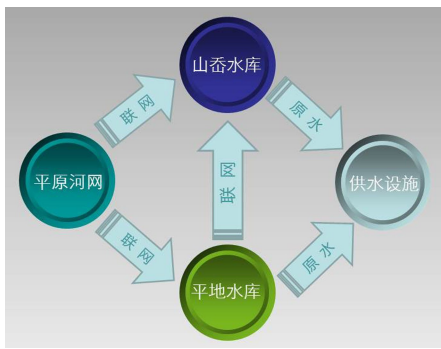


图1 AIU 模式示意图

AIU 模式的优点十分显著。首先, AIU 模式能够显著提高区域水资源利用效率。由于海岛降水年内分布不均,汛期带来的强降雨会使现有小规模、大数量的水库、山塘产生大量弃水,这些弃水会对流域防洪排涝带来不同程度的影响,一般通过河网汇集、低洼地滞蓄,最终候潮外排入海。AIU 模式采用的河库、库库联网工程,可将汛期弃水变废为宝,充分利用每一滴降水,提高水资源利用率,使得洪水资源化。其次, AIU 模式能够提高供水保障能力。通过多库联调,可以更科学、更优化地调配水资源,将丰水期的来水储存起来,作为枯水期用水,将来水量大、蓄水工程少的流域来水,调配至来水量小、蓄水工程大的流域,实现多库联调、互为备用,从而提高供水保障能力。第三, AIU 模式能够减少水面蒸发。面窄水深山岙水库或地下坑道型水库对减少水面蒸发十分有利,舟山群岛的多年平均水面蒸发量为 750 ~ 850 mm,在缺水的干旱年水面蒸发造成的水量损失尤为明显,据统计分析,1986 年的水面蒸发量最大为 899 mm,相当于每天约有 2.5 mm 的水被蒸发掉,因此减少水面蒸发对海岛水资源利用十分重要。第四, AIU 模式大容量存储空间与平原调蓄池相结合的方式,能最大程度地节省土地。将大容量的蓄水工程布置在峡谷山岙或地下,可置换出大量平原土地供开发建设。最后, AIU 模式结合河道水系整治,可在一定程度上缓解防洪排涝的压力,通过支流河道汇集、骨干河道排蓄、平原前池滞蓄、大容量存储空间存储等形式,建立区域防洪排涝保供一体化工程。

综上所述, AIU 模式是以保供水为主,结合防洪水、排涝水、抓节水、治污水的综合性开发利用模式,适用于边远海岛的本地水资源开发利用。

### 2.1.2 地下水资源开发利用

对于远离大陆且无地表河流的海岛,地下水是非常重要的淡水资源。地下水开采方式以机井为主,其次是民井、手摇井、引泉井。另外,对于具有合

适地形和地质条件的岛屿可建设坑道井口,既能集水又能蓄水。目前常用的地下水资源开采方式可通过联网兼并,作为 AIU 模式中的一个因素,从而形成一个综合性的本地水资源利用系统。

### 2.1.3 非常规水利用

a. 海水淡化工程。海岛有着丰富的海水资源,因地制宜采用各种方式利用海水资源是解决海岛地区淡水资源短缺的一种有效的途径。海水利用的途径很多,海水淡化是唯一不受气候影响的淡水资源开发技术,可以直接为人类生活、生产提供淡水。海水淡化技术经过半个多世纪的发展,目前采用的淡化方法主要有反渗透、多级闪蒸、多效蒸馏、压气蒸馏和电渗析等方法<sup>[4]</sup>。

b. 雨水利用。充分利用雨水也是海岛地区增加水资源供给的有效途径之一。海岛地区可通过雨水集流利用岛上的降雨资源,既可直接用于供水,又可通过回灌补给地下水,增加地下水量,再抽取地下水用于供水,从而提高水资源的利用率。屋檐接水是一种简便的雨水集流方式,利用居民的屋面作为集雨场接引雨水,通过接水、过滤、贮水、消毒、抽水、输水等工程设施,建立家庭小水厂。

c. 中水回用。目前很多海岛地区产生的污水不经处理直接排放,既浪费了水资源,又污染了环境。海岛地区淡水资源短缺,由于受污染的影响,供需矛盾会进一步加剧。而开展废水资源化和中水回用,可实现海岛水资源的可持续利用。目前舟山群岛新区年中水回用量约 800 万 m<sup>3</sup>,规划至 2030 年扩大到 3 260 万 m<sup>3</sup><sup>[5]</sup>。

d. 雾水收集。由于海岛和沿海地区湿度大,常常出现浓雾现象,雾水作为分散的少量水资源已开始被收集利用。最早实际运行的雾水收集工程位于厄瓜多尔。智利 Chungungo 岛从 1987 年到 1992 年进行了雾水收集试验和应用,共设 75 个收集器,每个收集器面积为 48 m<sup>2</sup>,平均产水量达到 11 m<sup>3</sup>/d。此外,欧洲、非洲和亚洲的一些海岛也相继开始建立雾水收集站来开发这种非传统的水资源形式<sup>[6]</sup>。

## 2.2 外流域引调水利用

海岛水资源时空分布不均,实施大陆引水是解决水资源供需矛盾,实现水资源在更大空间上优化配置的主要工程调控措施。大陆引水的方式有铺设海底管道、船运和跨海架桥等。

浙江省的海岛有地缘上的优势,大部分为大陆架的延伸岛屿,与大陆连接紧密,舟山群岛距离宁波大陆直线距离不足 30 km。2003 年舟山市建成了大陆引水一期工程,引水规模 1.0 m<sup>3</sup>/s,设计年引水量 2 160 万 m<sup>3</sup>;2015 年建成的大陆引水二期工程,引水

规模 2.8 m<sup>3</sup>/s,设计年引水量 6000 万 m<sup>3</sup>;拟建的大陆引水三期工程引水规模 1.2 m<sup>3</sup>/s,设计年引水量 2600 万 m<sup>3</sup>,并且将岛际引水管道延伸至金塘等周边小岛<sup>[7]</sup>。

### 3 典型海岛水资源开发利用规划

#### 3.1 衢山岛

##### 3.1.1 基本概况

衢山岛位于舟山群岛中北部,长江、钱塘江入海口外缘,为舟山第六大岛。衢山港区作为舟山港八大港区之一,港区水深流顺,锚地开阔,航道畅通,腹地充足,避风条件良好,是中国沿海建设大型深水港的理想港址。

衢山岛与大陆脱离,为独立系统,无外来客水,岛上地表水均来自大气降水。衢山岛现状供水由本地常规水源提供,即利用水库、山塘、河道等工程积蓄天然降雨,形成水源。全岛现有水库、山塘 158 座,作为乡镇水厂供水水源有 7 座,总库容 311 万 m<sup>3</sup>,其余多为屋顶山塘,一般用于生产、环境用水。供水水库中塘岙水库与黄沙水库已通过管道联网,东岙水库、四平岗水库、罗家岙水库、新罗家岙水库已通过管道联网。同时,塘岙水库、北扫基水库为增加入库水量,在下游桂花河建有 2 座翻水入库泵站,规模分别为 0.6 万 m<sup>3</sup>/d、0.1 万 m<sup>3</sup>/d。此外衢山岛还建有海水淡化厂 1 座,设计供水规模 0.5 万 t/d,主要用于工业生产。

##### 3.1.2 开发利用规划

通过对衢山岛生活、工业、建筑业及第三产业的需水预测,至 2030 年全岛总需水量约为 1569 万 m<sup>3</sup>,其中生活需水量 574 万 m<sup>3</sup>,工业需水量 850 万 m<sup>3</sup>,建筑业及第三产业需水量 145 万 m<sup>3</sup>。现有水源工程多年平均可供水量约 442 万 m<sup>3</sup>,其中本地水库供水 282 万 m<sup>3</sup>,海水淡化供水 150 万 m<sup>3</sup>,雨水利用量 10 万 m<sup>3</sup>,多年平均缺水量达到 1127 万 m<sup>3</sup><sup>[8]</sup>。

根据对衢山岛现状水资源开发利用、自身及周边自然条件、今后用水需求等情况的综合分析,本地水资源开发仍是解决衢山岛水资源紧缺形势最直接有效的方式。采用 AIU 模式,通过扩建黄沙水库、董家岙水库,新建大东岙水库,扩容淡水存储空间,同时配套建设调蓄池及提水泵站,充分利用汛期洪水资源,增加兴利库容,辅以河库联网、库库联网等工程(图 2)<sup>[9]</sup>,优化调度海岛水资源,建立防洪排涝保供一体化工程。在充分挖掘本地水资源的基础上,积极推进岛际引水工程,并辅以海水淡化、雨水利用等非常规水利用,从而形成多水源、高保障的规划供水格局。



图 2 衢山岛黄沙水库联网工程示意图

通过供需平衡计算,结合现有水源及规划水源工程,能使衢山岛供水保证率达到 95% 的设计标准。规划工程实施后,衢山岛将形成以黄沙水库、大东岙水库、董家岙水库为核心的三大水源群,通过管道、隧洞连接,可使全岛的水资源串联成网、综合调度,大幅提高水资源利用效率。

#### 3.2 东福山岛

##### 3.2.1 基本概况

东福山岛是舟山群岛最东端的住人岛,属于典型的边远海岛。东福山岛距沈家门约 50 km,基础设施极为薄弱,岛内淡水资源匮乏,供水系统不完善,缺乏稳定可靠的水源。目前东福山岛建有坑道井 9 处,其中在用有 4 处,总蓄水量约 4100 m<sup>3</sup>;建有 1 处海水淡化设备,日供水量约 50 m<sup>3</sup>;此外,每户居民家中均配有雨水收集池。现有供水水源分散且规模偏小,仅能勉强满足最基本的用水需求,缺水时期只能依靠本岛船运淡水解决用水问题。现有海水淡化设施受实际使用频率较低,制水成本较高,电力资源紧缺等问题制约,无法发挥原有供水能力,水资源匮乏问题严重制约了东福山岛的旅游业发展。

##### 3.2.2 开发利用规划

根据舟山群岛“大岛建,小岛迁”的基本发展战略,结合规划发展趋势,东福山岛今后用水对象主要为旅游人口,预测 2030 年日均最高游客容量约 400 人,按照人均综合用水指标 130 L/d 计算,年需水量约为 1.9 万 m<sup>3</sup>。鉴于东福山岛远离大陆,基本不存在岛际引调水的实施条件,因此解决水资源问题必须从自身着手,寻找突破口。

东福山岛陆域面积在 2.8 km<sup>2</sup> 左右,为低丘陵山地,地形呈浑圆状,降水产生的径流向四周扩散,较难形成有效汇集利用,拦蓄建坝条件不甚理想。此外,东福山作为东极岛旅游产业的核心区块,其定位为融生态、文化于一体的精品生态休闲度假岛,地表水源工程建设难免对现有生态环境造成一定影响。因此,拟将储水空间布置在流域入海口侧的地下,在地表沿山谷设置多处截洪沟及竖井,流域地表

来水通过截洪沟截流,并经竖井汇集,存储至地下,同时对地下储水空间做好防护及监控措施,保证供水安全。对岛内现有坑道井进行修复联网,并进一步推广更新海水淡化、屋顶雨水收集等设施,作为辅助水源,见图3。

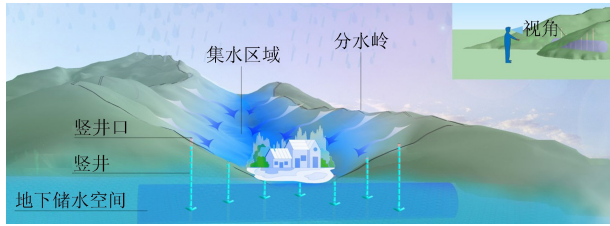


图3 东福山岛地下存储系统示意图

规划将地下储水空间布置在独流入海小流域最末端,使集水面积最大化,从来水量上分析基本能满足集水需求;存储空间置于地下,最大限度地避免了对岛屿原始形态的破坏,地表部分仅布置截洪沟,可通过绿化措施对影响加以弱化,能满足旅游定位的需求;大容量储水空间位于地下,还可以基本忽略水面蒸发带来的水量损失,结合与现有坑道井的联网调度,充分体现了AIU模式的设计理念。通过对东福山岛供需平衡计算,上述水源工程实施后,基本能满足2030年的用水需求,供水保证率在90%以上。

#### 4 结语

随着陆地资源枯竭和环境恶化,沿海国家和地区经济发展越来越多地倚重于海洋,海洋产业成为当今经济发展的重要增长点和动力源。舟山群岛作为我国首个以海洋经济为主题的国家战略层面新区,肩负着探索国家海洋经济发展路径的历史责任,而长期存在的水资源供需矛盾,在一定程度上制约了舟山群岛社会经济的发展。

本文提出了AIU模式,通过大容量存储空间集中存储,汇水网络收集来水,调蓄区域调峰滞蓄,供水设施联合调度的方式,利用河网、管网、隧洞、泵站等工程措施,使其相互关联,最终形成综合性水资源利用体系。针对用水需求年内变幅明显、水面蒸发量大、生态环境保护要求高的边远海岛,则以地下水库为存储空间,以截洪沟拦截汇水,以竖井收集来水的开发利用方式,最大程度的利用降水形成的径流,提高供水保障。结合实践经验,可为边远海岛水资源开发利用提供参考,从而实现水资源的高效利用。

#### 参考文献:

[1] 陈国伟. 浙江省海岛地区供水配置探讨[J]. 水利规划与设计, 2006(1): 19-22. (CHEN Guowei. Discussion on water supply distribution in the island area of Zhejiang

Province[J]. Water resources planning and design, 2006(1): 19-22. (in Chinese))

[2] 刘立军,赵红弟,楼越平. 舟山岛水资源可持续利用方案分析[J]. 中国农村水利水电, 2007(5): 11-13. (LIU Lijun, ZHAO Hongdi, LOU Yueping. Analysis of sustainable utilization of water resources in Zhoushan Island[J]. China Rural Water Conservancy and hydropower, 2007(5): 11-13. (in Chinese))

[3] 陈康翔,钱德雪. 海水淡化在舟山海岛地区的适用性分析[J]. 浙江水利科技, 2006(5): 11-13. (CHEN Kangxiang, QIAN Dexue. Applicability analysis of sea water desalination in Zhoushan island area [J]. Zhejiang Hyrotechnics, 2006(5): 11-13. (in Chinese))

[4] 范南屏,李军,许建国,等. 海岛非传统水资源的开发利用[J]. 浙江建筑, 2007, 24(4): 56-58. (FAN Nanping, LI Jun, XU Jianguo, et al. Development and utilization of non-traditional water resources in Islands [J]. Zhejiang Construction, 2007, 24(4): 56-58. (in Chinese))

[5] 聂汉江,陈莹,赵辉,等. 海岛型城市开发利用非常水源存在的问题与对策:以舟山市为例[J]. 水利经济, 2015, 33(4): 62-65. (NIE Hanjiang, CHEN Ying, ZHAO Hui, et al. Problems and countermeasures for development and utilization of non-conventional water resources in island cities; example of Zhoushan City [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2015, 33(4): 62-65. (in Chinese))

[6] 张俊娥,高季章. 国内外海岛水资源的开发利用[J]. 中国防汛抗旱, 2012, 22(1): 39-42. (ZHANG Jun'e, GAO Jizhang. Development and utilization of water resources at home and abroad [J]. Flood Control and Drought Relief in China, 2012, 22(1): 39-42. (in Chinese))

[7] 陈跃青. 浙江舟山群岛新区水资源节约保护与开发利用总体规划[R]. 杭州:浙江省水利水电勘测设计院, 2013.

[8] 陈箬舟. 舟山市岱山县水资源开发利用及供水规划[R]. 杭州:浙江省水利水电勘测设计院, 2014.

[9] 陈松华. 海岛地区提高水资源保障能力对策探:以舟山市为例[J]. 浙江水利科技, 2010(1): 17. (CHEN Songhua. Countermeasures on improving the capacity of water resources protection in the island area; taking Zhoushan city as an example [J]. Zhejiang Hyrotechnics, 2010(1): 17. (in Chinese))

(收稿日期:2016-06-03 编辑:王芳)

