

吸水剂的研发及在农林业中的应用进展

付志芳<sup>1</sup>, 马履一<sup>1</sup>, 秦向华<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学资源与环境学院, 森林培育与保护省部级共建重点实验室, 北京 100083; 2. 中国林学会, 北京 100091)

**摘 要:**吸水剂(保水剂)是一类具有高吸水特性的功能性高分子交联物, 由于其具有高吸水性、水不溶性和绿色环保性等显著特点, 在多个领域得到广泛应用。着重介绍 20 世纪 60 年代以来世界吸水剂的研发成果以及在农林业和生态环境建设中的作用, 同时对应用前景进行展望。  
**关键词:**吸水剂; 农林业; 应用进展  
**中图分类号:** S156. 2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1002-3409(2006)03-0268-04

The Research and Development Achievement of Super Absorbent Polymers and Advances in the Research and Utilization in Agriculture and Forestry

FU Zhi-fang<sup>1</sup>, MA LV-yi<sup>1</sup>, QIN Xiang-hua<sup>2</sup>

(1. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, College of Resources and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083;  
2. China Forestry Association, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Water absorbing polymer is the abbreviation of super absorbent polymers, a kind of high water2absorbing functional macromolecule, which is also called water retaining agent. The development of the world SAP since 1960s and the influences of it on the fields of agriculture, forestry and environment are described, and the practical prospect is presented.  
**Key words:** super absorbent polymers; agricultural and forestry; utilization progress

吸水剂是超强吸水剂(Super absorbent polymers, SAP)的简称, 是一类具有高吸水特性的功能性高分子交联物, 亦称保水剂(Water retaining agent)。20 世纪 80 年代以来, 高吸水、高保水材料研制已成为科学研究一个热点, 美国、日本、法国等 30 多个国家开展了对此类功能性高分子材料的深入研究并取得了令人瞩目的成果, 开发的产品有 3 大系列近 1 000 个品种, 在不同领域应用也取得长足进展<sup>[1-5]</sup>。由于吸水剂具有高吸水性、水不溶性和绿色环保性等显著特点, 已被广泛应用于医药卫生、食品工业、矿山建筑、环境保护以及农林业生产等领域<sup>[2]</sup>。我国在 20 世纪 80 年代中期、90 年代初曾有二次推广高潮, 但因质量和机制问题, 未得到规模推广, 近几年来, 一些新的保水剂在我国不断研制并应用。本文着重对 20 世纪 60 年代以来世界吸水剂的研发状况以及在农林业和生态环境建设应用现状进行综述, 并对研究及应用前景进行展望。

1 吸水剂的研发现状

吸水剂应用是一种通过改善植物根土界面环境供给植物水分的化学节水技术。世界吸水剂的研发根据进程可分为三个阶段: 一是初级研发阶段, 20 世纪 50 年代之前所使用的保水剂材料主要为天然物质和无机物, 50 年代 Goodrich 公司开发了交联聚丙烯酸的生产技术。60 年代, 美国

科学家研制出淀粉型保水剂, 70 年代在玉米、大豆包衣和造林等方面应用, 取得良好效果。之后, 世界各国竞相研制出数 10 种保水剂<sup>[6]</sup>。二是研究和开发并重阶段, 1975 年日本在此基础上相继开发出了聚丙烯酸盐系列的高吸水性树脂, 法国、英国、意大利、埃及、韩国、俄罗斯和比利时等也都先后开发吸水剂, 建立了许多专门从事吸水剂研究的机构和生产厂家, 形成不同规模的生产能力, 1980 年世界生产能力均为 5 kt, 到 80 年代末生产能力达到 200 kt 左右。三是应用开发阶段, 主要表现为系列产品开发与应用, 价格出现较强竞争, 生产规模扩大, 产量与日俱增, 1990 年生产能力增强到 210 kt, 1998 年已发展到 850 kt, 2000 年以来世界 SAP 生产能力迅速增加到 1 200 kt 左右并保持在这个水平。  
我国的高吸水性树脂研究开始于 20 世纪 80 年代初, 较早研制成功的是吉林省石油化工设计研究院和河南省化学研究所, 之后, 吸水剂的研制进入高峰时期, 全国有中科院化学所等 20 多个单位进行研制。总的来看, 我国吸水剂研制的起步并不算迟, 基本上能紧跟国外的发展趋势, 能采用不同工艺路线合成了多种吸水剂并且国内研究高吸水性树脂一直是一个热点, 每年有大量的文献报道, 专利也已有几十项, 但在应用研究和工业化生产方面与国外还有很大差距<sup>[7]</sup>。

1.1 吸水剂的种类及特点

吸水剂的种类很多, 分类方法也不尽相同。一般按制造

y 收稿日期: 2005 12 07  
基金项目: 国家自然科学基金(项目号: 30371147)北京市水源保护林主要造林树种耗水特性与耗水调控机制的研究  
作者简介: 付志芳(1981-), 女, 山西太原人, 硕士, 主要研究方向: 森林培育学; 责任作者: 马履一(1957-), 男, 云南大理人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 森林培育学。

所使用的材料来源不同,吸水剂大致可以分成两大类:天然高分子与合成高分子,其中合成高分子类又分为聚丙烯酸类、聚乙烯醇类和其它合成类,聚丙烯酸类还可分为有机和无机两类。根据制备过程的反应类型可分为接枝共聚、羧甲基化和水溶性高分子交联三类。按吸水性能分为一般吸水剂和超强吸水剂两大类,超强吸水剂又可分为淀粉系、纤维素系、合成聚合物系,其中淀粉系和纤维素系属于天然高分子类。不同类别吸水剂的特点如下:<sup>1</sup> 淀粉系:淀粉系研究开发最早,由于它是由极性吸水基团组成,吸水后凝胶强度比较低,在吸水状态下会发生缓慢水解,尤其是在光照或加热情况下,容易出现凝胶溶解现象,因而淀粉类高吸水性树脂仅适合于一次性使用。另外,由于其无毒性 and 生物降解性,对环境无害,目前多用来制造妇女卫生巾和婴儿尿布。<sup>2</sup> 纤维素类:由于人口增长对粮食需求的增加,为了节约淀粉,纤维素类吸水剂的研究可能会越来越多,但是由于这类吸水剂的吸水倍率普遍不高,所以现在的应用还较少。<sup>3</sup> 聚丙烯酸类:聚丙烯酸类是目前研究最多、产量最大的一类合成高分子吸水剂,其聚合方法和生产工艺已相当成熟,产品的各种性能指标都较好。<sup>4</sup> 聚乙烯醇类:聚乙烯醇类的吸水倍率不及聚丙烯酸类,但它吸水速度快,2~3 min 内即可达到饱和吸水量的一半,所以也具有相对广阔的应用前景<sup>[2,7-9]</sup>。

1.2 吸水剂的生产工艺

吸水剂生产技术主要有:接枝共聚,表面交联。吸水剂的合成大体上可以分为两个系列:一是利用天然高分子原料与合成单体接枝共聚,产品成为半合成树脂;一是完全利用合成单体经交联共聚,产品称为合成树脂。一般的吸水树脂都有一个严重的缺点,就是其吸水速度要比类似棉纱的纸粕或纸张的吸水速度慢,为了提高吸水树脂的吸水速度,各国均进行了各种研究。淀粉接枝共聚技术最初是由美国农业部北方研究所 G. F. Fanta 以麦淀粉接枝丙烯酸开始。1975 年日本三洋化成株式会社在美国研究成果的基础上研制出淀粉接枝丙烯酸(钠)超强吸水剂<sup>[10]</sup>。化工部北京化工研究院是以乙烯基不饱和单体(丙烯酸)和金属氢氧化物及淀粉为原料,采用不锈钢或搪瓷衬里的聚合反应器,在低浓度(固含量为 10 左右)的水溶液中进行聚合。我国目前采用的是后一种生产技术<sup>[11,12]</sup>。

1.3 吸水剂的吸水原理

吸水剂的吸水原理一直是重要的研究领域。已有的研究认为,吸水剂属高分子电解质,以水溶性乙烯单体为主体进行聚合,得到水溶性骨架,再通过分子链间的交联形成 T 型网状结构,在交联的网状结构上有许多羧基、羟基等亲水基团。吸水剂的吸水是由于高分子电解质的离子排斥所引起的分子扩张和网状结构引起阻碍分子扩张相互作用所产生的结果<sup>[3,8,13]</sup>。总的来说,吸水剂的吸水原理是树脂对水的物理吸附和化学吸附的叠加,即靠产物的网络结构膨润的物理吸附,也靠产物中的亲水基团与水结合成氢键的化学吸附。其中产物中交联度和强亲水基团的多少是决定吸水剂吸水能力的关键<sup>[34]</sup>。

1.4 吸水剂的产品研发概况

吸水剂的产品研发主要在以下领域:<sup>1</sup> 吸水剂最初的研发主要在工业等领域;<sup>2</sup> 由于经济发展的需要,在医用卫生上,超强吸水剂可以做可降解手术衬垫、餐巾、失禁病人的垫褥、尿布、妇女卫生巾和医用绷带等;<sup>3</sup> 在农业上可用于改善土壤的持水能力,促进种子发芽和植物生长;<sup>4</sup> 在建筑上可用于止水堵漏剂、结露防止剂、调湿剂等;另外,还可用作食品保鲜和保洁材料,废水处理絮凝剂、保冷剂及防火用胶等<sup>9</sup>。

2 吸水剂在农业中的应用

据统计,自吸水剂实现工业化生产以来,90%用于工业领域,在农林业上的应用大约占 8%~10%。由于吸水剂能迅速吸收比自身重数百倍甚至上千倍的去离子水、数十倍至近百倍的含盐水分,而且具有反复吸水释水功能,吸水后膨胀为水凝胶,可缓慢释放水分供植物吸收利用,从而增强土壤保水性,改良土壤结构,减少水分的深层渗漏和土壤养分流失,提高水分利用率,调节土壤水、热、气状况,改善土壤结构,提高土壤肥力,所以在农林业及生态环境建设中的应用越来越广泛<sup>[1,14]</sup>。

面对干旱缺水的现实,近年来世界各国倍加重视化学保水剂在农业上的应用,并把它作为一项旱作农业新技术扩大试验、示范和推广。20 世纪 60 年代美国首先在玉米上研制成功,70 年代中期美国农业部研究中心首先用于玉米、大豆种子涂层试验,取得了大田试验的良好结果,并在美国西部干旱地区进行推广。日本是保水剂生产和试验发展比较发达的国家,其研究的中心课题是保水剂在沙漠绿化中的应用,并在蔬菜种植、植树与滴灌结合进行节水农业试验研究中已取得明显成效。20 世纪 70 年代以后,世界上近 30 个国家致力于农用保水剂的开发和使用。农用保水剂的特点与工业不同,农用保水剂对反复吸水能力、凝胶强度和保水性等有特别的要求,同时必须保证使土壤不会板结、不受到污染,不影响种子发芽、出苗以及适宜的 pH 值和很好的复配性能(与养分、农药等)等。埃及、沙特阿拉伯、以色列、阿联酋、苏丹等国则是在农林上应用效果最好的国家,他们利用吸水剂改造沙漠、沙滩,使其变成生产粮食的良田和改善环境的森林,特别是埃及每年都在用吸水剂改造着尼罗河两岸的沙地,可达 67 km<sup>2</sup> 之多,其用量的 70% 为自给<sup>[15-17]</sup>。另外,美国、澳大利亚、法国等国的应用大多是用在草坪地、花卉及其它产值高的植物上,单纯在大田上的应用很少,主要因为农业比较效益低,产投效益不划算。泰国一直在做高吸水剂混入土壤中对于烤烟生长作用的研究,并得出一株用 9 g 高吸水剂对植株生长效果最好,显著高于不施用吸水剂的对照<sup>[18]</sup>。将吸水剂注射入日本鹌鹑下丘脑中使其损伤后对鹌鹑产卵形式也发生影响<sup>[19]</sup>。金群力等通过测定发菌速率、灭菌前后重量变化,明确添加高分子吸水剂对加快真姬菇发菌速率,提高培养基持水量有促进作用:添加 0.5% 高分子吸水材料对真姬菇菌丝生长有明显的促进作用,可以较大幅度地缩短发菌期,提高发菌整齐度,满袋比例与对照比可提高 39.8 个百分点,离底比例降低 31.03 个百分点。在食用菌培养料中添加高分子吸水剂可达到提前出菇,延长采收期,降低栽培管理成本,提高效益的目的。吸水剂还可以增加菌袋持水量,减少灭菌时的水分损失,从而使菌袋在整个生育期保持较高的含水量<sup>[20]</sup>。

我国从“七五”计划开始把超强吸水剂在农业的应用与推广定为重点科研项目,在粮、棉、油、糖、果、菜等 60 多种作物上应用面积超过 6.67 万 hm<sup>2</sup>,已肯定了保水剂对作物的增产效果,并可在农业、林业、水资源、沙产业中对多种农作物、土壤、沙漠、林木和草发挥其多种功能。通过试验让广大农民认识超强吸水剂在保苗、抗旱及水土保持等方面的巨大效能,从而大幅度地提高我国农业的经济效益<sup>[15,33]</sup>。中国农科院气象所于 1993~1995 年引进了日本的数种吸水剂在山东的小麦、玉米和棉花上进行试验;1995 年引进了美国的吸水剂在内蒙古进行农业试验;中国科学院兰州沙漠所 1992 年应用德国吸水剂进行农业试验;农业部 1995~1996

年引进比利时 TC 土壤改良剂在西北地区进行农业试验; 1996~ 1997 年水利部引进法国吸水剂进行抗旱节水试验, 都取得明显效果。但大面积应用仍受价格、进口渠道和适应条件的制约。据研究资料报道, 吸水剂吸收的水分 85. 0% 以上可供作物利用。

### 3 吸水剂在林业建设和生态环境保护中的应用

在森林培育及园林绿化中, Imgram- DL; Burbage- W 在研究使用 3 种不同方法移植对栎树成活率的影响, 在移栽前期灌溉对其成活率效果明显, 而在移栽 37 d 之后使用吸水剂对栎树春季生长有很好的效果<sup>[21]</sup>。在苏丹, 经研究使用吸水剂对提高树木萌芽率及早期成活率有重要作用, 还可提高移植成活率及树木生长量, 解决了苏丹的环境危机<sup>[22, 23]</sup>。

国内对高吸水剂在造林方面的应用研究早在 20 世纪 80 年代初就有报到, 北京林业大学王九龄教授等对北京地区低山阳坡应用吸水剂抗旱造林的研究发现, 在气候和土壤极度干旱的条件下, 利用吸水剂处理油松、侧柏苗木根系和土壤, 能使干旱阳坡的这些树种造林成活率由过去的 30% 提高到 80%~ 90%。并形成一套吸水剂抗旱造林应用技术<sup>[24]</sup>。自 80 年代以来, 我国在林业上应用的吸水剂种类有, 应用领域包括种子包衣、苗木培育、凝胶蘸根、土壤直接施用、作培养基质、促进结实等, 在提高种子质量、苗木质量、造林成活率、改良土壤等取得了良好的效果。韩恩贤等人在位于渭北黄土高原沟壑区的麟游县进行侧柏造林试验, 结果表明: 不同施量以穴施 2. 5 g 最优, 保水持效期达 3 个月以上, 对半干旱地区提高造林成活率起到了关键作用, 但对高、径生长影响不大; 穴施保水剂对林木后期生长无负作用<sup>[25]</sup>。王洪学等在伊春林区造林特别困难的汤旺河两岸干旱地区用吸水剂及药物处理苗木造林提高成活率 32% 以上, 为干旱地造林开辟了新途径, 使之有水时蓄水, 无水时供水, 起到“水库”的作用, 使新植苗不至于因缺水而缓苗, 尽早生根成活<sup>[26]</sup>。张海忠等在樟子松造林中应用吸水剂后, 苗木的成活率、苗高、地径及根系均比对照林地好<sup>[27]</sup>。近几年随着保水剂制造技术、工艺水平的提高, 吸水剂在节水林业的蓄水保墒中得到了迅速的推广应用, 大幅度提高了造林成效, 使径流林业技术日臻完善。迄今已对油松、侧柏、湿地松、火炬松、晚松、樟子松、杉木、五针松、毛白杨等树种进行过这方面的研究, 结果均能显著提高其造林成活率。使用方法有浆根、浸根、泥团裹根、吸水土、穴施、浇灌等, 尤以浆根、浸根法更简便实用<sup>[7, 34]</sup>。赵昌军等在黄土高原造林示范区进行造林试验后发现: 造林的单位面积费用与对照区进行比较, 针叶树可节省造林费用 348~ 369 元/hm<sup>2</sup>, 阔叶树可节省 129~ 153 元/hm<sup>2</sup>, 平均节省 14. 5%~ 24. 1%。效益十分显著<sup>[28]</sup>。王九龄等 1991 年通过两个实例对比了吸水剂泥团裹根造林与一般国营林场常规造林的成本, 结果表明, 前者的成本高于后者, 但吸水剂造林可以增大造林成功的把握, 减少补植工作量或重造次数, 相对地降低了造林成本, 特别在立地条件不良的地方更明显<sup>[29]</sup>。

在保持水土中, 由于吸水剂在土壤中必然会与土壤中的粘粒发生相互作用, 特别是吸附作用。由于黏土微粒表面呈负电性, 在吸水剂分子链上引入一定量的有机阳离子基团, 强化它与黏土微粒间的吸附作用, 可以使土壤的水化、膨胀

#### 参考文献:

[1] 邹新禧. 超强吸水剂(第二版) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.  
[2] 杨本宏. 超强高分子吸水材料的研究进展与应用[J]. 合肥联合大学学报, 2002, 12(3): 97- 102.  
[3] 陈卫星, 宁荣昌. 丙烯酸型高吸水性树脂[J]. 材料导报, 2000, (12): 40- 43.

和分散作用被抑制, 从而防止水土流失<sup>[28]</sup>。  
在抑尘中, 淀粉接枝丙烯酸类吸水剂还可用于公路灰尘的控制, 在乳化焦油中加入适量的淀粉接枝丙烯酸超强吸水树脂, 然后将该混合物喷射在路面上, 能保持尘土有一定的含水量和粘结性, 从而能有效地抑制粉尘飞扬, 阻止水分蒸发, 并能减少汽车的运输成本等, 这种混合物不仅可用于露天矿汽车运输路面的抑尘, 而且可用于城市道路修筑等高产尘工地的抑尘, 有较好的应用前景<sup>[30]</sup>。吸水剂还可应用在矿山防尘中: 抑制露天矿路面的粉尘飞扬; 防止井巷内落尘两次飞扬; 作为尾砂库(废石堆)或排土场的抑尘剂; 作为各种高产尘车间、矿岩装卸过程中和爆破作业的抑尘剂<sup>[31]</sup>。

### 4 存在的问题与展望

#### 4.1 吸水剂的质量及性能问题

我国超强吸水剂经过近 20 多年的研究, 同国外的产品相比, 无论从技术上还是从规模上都有较大差距, 国内高档吸水剂产品都依靠进口<sup>[7]</sup>。要全面提高吸水性树脂的质量, 将实际应用到的某种场合的吸水剂所需要的性能都应满足, 而不是指每一种吸水剂各项性能都要有高指标, 有必要根据各种用途的要求, 积极展开相关开发研究, 采用合适的原材料、助剂, 选择合适的方法和条件进行合成, 制造出高性能的产品。所以, 研究和选择合理的加工方法使吸水性材料成型后能保持良好的性能是十分重要的。

#### 4.2 吸水剂的应用范围

与国外相比, 我国吸水剂在应用研究上深度和广度还不够, 缺乏系统的组合研究, 而且由于吸水剂种类繁多, 其应用效果又受多种因素制约, 目前很难有一致的定性结论, 因此应结合不同的吸水剂产品和应用条件, 系统的研究吸水剂特性、气候条件、土壤质地、水肥条件、pH 值等多种因素在保水剂作用机理、水分调控机制、应用效果中的作用, 探讨不同条件下吸水剂的最佳使用浓度、施用方式, 为吸水剂的研究、改进、生产、及其应用提供理论指导, 满足干旱半干旱地区吸水剂应用与推广的要求<sup>[32]</sup>。

#### 4.3 使用吸水剂的经费问题

目前国内、外 20 多个厂家生产的吸水剂在国内价格相差很大, 但多数价格偏高。国内如科瀚公司、绿宝集团和博亚公司的农用高吸水树脂价格分别为 27, 22 和 24 元/kg, 进口产品价格更高, 从美国进口的高吸水性树脂价格为 70 元/kg 左右, 高吸水性树脂用量瓜菜类一般为 45~ 90 kg/hm<sup>2</sup>, 半年生农作物, 如玉米、花生等用量为 75 kg/hm<sup>2</sup> 左右, 果树类, 按树龄不同, 每株施用量为 80~ 200 g。按以上施用量, 作物增产幅度在 10%~ 30%, 高吸水性树脂用于一般农作物价格明显偏高。

#### 4.4 吸水剂适用技术的推广

近 20 年来, 吸水剂应用于各类农作物的吸水性、保水性、特效性对于作物的出苗率、树木的成活率以及促进作物的生长方面研究报道较多, 并已开始推广应用。同时对吸水剂的性质、作用机理以及对土壤各种性能的影响也进行了些探讨。但对于吸水剂应用于农业的保水、保土、保肥、改良土壤、促进作物生长、抑菌抗病能力和环境影响全面系统综合评价研究较少, 因此需要开发具有以上所述的多功能产品的吸水剂<sup>[4]</sup>。

- [4] 汪华源. 我国保水剂在农业上的应用专题文献研究[J]. 农业图书情报学刊, 2003, (4): 70- 73.
- [5] 杜太生, 康绍忠, 魏华. 保水剂在节水农业中的应用研究现状与展望[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(5): 317- 320.
- [6] 黄占斌, 辛小桂, 宁荣昌, 等. 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 11- 14.
- [7] 尹国平, 农韧刚, 刘革宁. 高吸水剂在我国林业上的应用研究进展[J]. 世界林业研究, 2001, 14(4): 50- 54.
- [8] 吴玉凯. 超强吸水剂的制备与应用综述[J]. 商业科技开发, 1997, (1): 39- 42.
- [9] 李成林. 超强吸水剂的应用及展望[J]. 化工时刊, 2003, (8): 9- 11.
- [10] 黄美玉. 超高吸水性聚丙烯酸钠的制备[J]. 高分子通讯, 1984, (2): 129- 134.
- [11] 王勇, 张玉英. 高吸水性树脂的研究进展[J]. 中国塑料, 2001, (10): 14- 16.
- [12] 初荣, 李华民, 黄占斌, 等. 风化褐煤在保水剂中的应用[J]. 煤炭工程, 2005, (1): 67- 68.
- [13] 林润雄, 王基伟. 高吸水性树脂的合成与应用[J]. 高分子通报, 2000, (2): 85- 92.
- [14] Engelhardt F, Ebert G, Reigel U, et al. Absorption agent for water and aqueous solutions[P]. EP: 0590395, 1994- 04- 06.
- [15] 吴德瑜. 保水剂与农业[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995.
- [16] Fujita F, Funayama I, Oohasi Y, et al. Geanular soil conditioner and its manufacture[P]. EP: 4142390, 1992- 05- 15.
- [17] Tripathi M L, Kurmvanshi S M, Namdeo K N. Acrylic acid grafted starch- technological innovation of high absorbent resin[J]. Indian J. Agron., 1995, 40: 525- 527.
- [18] Damrong Chairiyakul. Study of water absorbent polymer to maintain soil moisture for flue- cured tobacco grown in A2 pril[J]. Annual report 1993. Raingan pracham pi 2536. Chiang Mai. 1995- 68- 32.
- [19] Ohta2M; Homm2K Oviposition pattern of Japanese quail following hypothalamic lesioning with supe2absorbent poly2mer[J]. General and Comparative Endocrinology, 1988, 72: 424- 430.
- [20] 金群力, 孙培基. 高分子吸水材料对真姬菇发菌的影响[J]. 浙江农业科学, 2001(4): 161- 163.
- [21] Ingran2DL, Burbag2W. Effects of irrigation regime, antitranspirants, and a water absorbing polymer on the survival and establishment of transplanted live oaks[J]. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 1986, 98: 85- 87.
- [22] Callaghan2TV, Abdelnou2H, Lindley2DK The environmental crisis in the Sudan: the effect of wate2absorbing synthetic polymers on tree germination and early survival[J]. Journal of Arid Environments, 1988, 14: 301- 317.
- [23] Callaghan2TV, Lindley2DK, Al2OM, et al. The effects of water2absorbing synthetic polymers on the stomatal conduct2ance, growth and survival of transplanted Eucalyptus microtheca seedlings in the Sudan[J]. Journal of Applied Ecology, 1989, 26: 663- 672.
- [24] 王九龄, 孙健, 王志明. 吸水剂在北京低山阳坡造林中应用的系列研究Ñ - ô [J]. 北京林业大学学报, 1991(增刊 2): 121- 162.

(下转第 273 页)

(上接第 267 页)

- [10] Van Noordwijk M, Spek L Y, De Willigen P. Proximal root diameters as predictors of total root system size for fractal branching models . I. Theory[J]. Plant Soil, 1994, 164: 107- 118.
- [11] Coutts M P, Nielsen C C N, Nicoll B C. The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers[J]. Plant and Soil, 1999, 217: 1- 15.
- [12] Vercambre G, Pages L, Doussan C, Habib R 2003 Architectural analysis and synthesis of the plum tree root system in an orchard using a quantitative modeling approach. Plant Soil 251, 1- 11. Shinosaki K, Yoda K, Hozumi K and Kira T 1964 A quantitative analysis of plant form- the pipe model theory I. Basic analysis[J]. Jpn. J. Ecol. 2003, 14: 97- 105.
- [13] Ozier- Lafontaine H, Lecompte F, Sillon J F . Fractal analysis of the root architecture of Gliricidia of Gliricidia sepium for the spatial prediction of root branching, size, and mass. Model development and evaluation in agroforestry[J]. Plant Soil, 1999, 209: 167- 180.
- [14] Fitter A H. The topoloty and geometry of plant root systems: influence of watering rate on root system topology in Tr2 folium pretense[J]. Ann. Bot, 1986, 58: 91- 101.
- [15] Rose D A . The description of the growth of root systems[J]. Plant Soil, 1983, 75: 405- 415.
- [16] S- Plus. S- Plus User's Manual[M]. Seattle, WA: Statistical Sciences, Inc., 1991.
- [17] Pages L, Vercambre G, Drouet J L Lecompte F et al. Root Type: a generic model to depict and analyse the root system architecture[J]. Plant and Soil, 2004, 258: 103- 119.
- [18] Coutts M P. Factors affecting growth direction of tree roots[J]. Ann. Sci. For. 1989, 46: 277- 287.
- [19] Le Roux Y, Pages L Development et polymorphisme racinaire chez de jeunes semis d'hevea(Hevea brasiliensis) [J]. Can. J. Bot, 1994, 72: 924- 932.
- [20] Riedacker A, Dexheimer J, Takavol R, et al. Modifications experimentales de la morphogenese er des dans le systeme racinaire de jeunes chene[J]. Can. J. Bot, 1982, 60: 765- 778.
- [21] Logsdon S D, Linden D R. Interactions of earthworm with soil physical conditions influencing plant growth[J]. Soil Sci, 1992, 154: 330- 337.
- [22] Wang J, Hesketh J D, Wooley J T. Preexisting channels and soybean rooting patterns[J]. Soil Sci, 1986, 141: 432- 437.

边又濒临舞台和学校,威胁其安全,故不可取。

方案五,蓄水竖井陡坡排水式。依据沟岸上陡下缓的地形特点,在沟边适当距离处,垂直向下打一竖井,竖井深与陡坎大致同深,基部设消力井消能。在沟岸下部较缓那一段,依具体地形修建不同比例的陡坡排水沟渠,下设消力池消能。同时,对原有的蓄水池塘进行清淤加固,并在蓄水池塘与排水设施之间修建排水暗涵,将蓄水池容纳不下的多余径流引排到排水设施。

这样,采用蓄排结合的形式,蓄排设施相辅相成,共同抵御洪水危害。蓄水池滞蓄部分洪水,一方面减轻了排水设施的排洪负担,另一方面为有控制地泄洪作准备。采用竖井与陡坡相连接的排水形式,既克服了因土壤疏松多孔,湿陷性强,易被洪水冲淘损坏的弊端,又利用二级消能,分散了水流总能量,增强了工程安全稳定性。同时,减少了削坡带来的面积损失。且这种形式简单明了,易于施工,造价低廉,实际工程总投资仅3.15万元。因此是一种经济实用的沟头防护工程,该方案巧妙合理。

通过以上五种方案的比较论证,最终确定蓄水竖井陡坡排水式沟头防护工程为最优方案。

### 3 工程组成与作用

工程由蓄水和排水两部分组成。蓄水部分采用原有蓄水池塘,它的主要作用是先将沟头以上坡面村庄分散的地表径流汇集起来,为有控制地排入沟底作好准备。排水是该工程的主体部分。它由进口段、排水段和出口段三部分组成(见图1)。

#### 3.1 进口段

进口段由进水暗涵和检查井组成。进水暗涵是蓄水池和排水段的连接建筑物,一端连接蓄水池出口,另一端伸入竖井内。检查井是布设在进水暗涵靠近排水段处,它起到调整两端接口的高差和转变方向的作用,同时设有拦污栅,起到拦污淤泥的作用。

#### 3.2 排水段

排水段从上到下依次由竖井、隧洞、陡坡组成。竖井和陡坡是跌水建筑物。隧洞是竖井与陡坡的连接建筑物,一端连接竖井底部的消力井,另一端与陡坡始端相连。

#### 3.3 出口段

出口段由消力池和海漫组成。消力池对陡坡下来的高

速水流进行消能整理。海漫对水流的进一步消能,同时对沟底起到防冲作用。

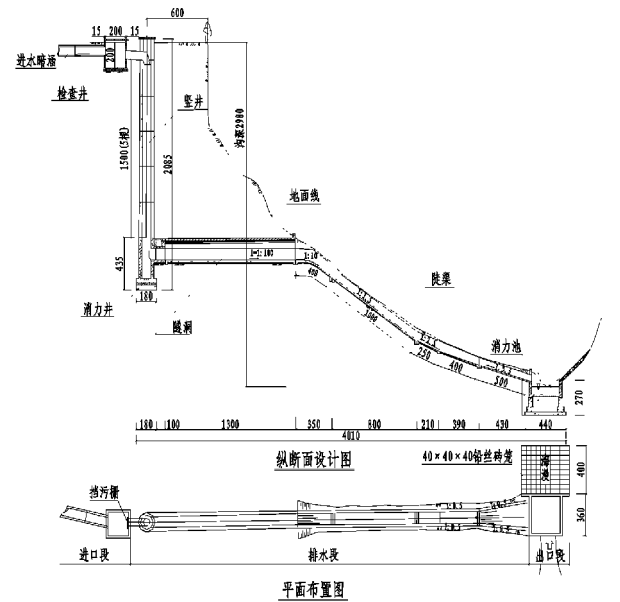


图1 北火土村沟头防护工程排水部分 cm

### 4 工程特点

- (1)蓄排结合。常见的沟头防护工程,要么是单纯蓄水式,要么是单纯的排水式。该工程具有蓄排结合的特点。
- (2)竖井与陡坡连接。常见的排水式沟头防护工程,要么是单纯悬臂式,要么是单纯陡坡式。该工程利用沟岸上陡下缓的地形特点,采用竖井与陡坡相连接是该工程的又一特点。
- (3)该工程作为沟头防护工程,不仅对制止沟头前进起作用,而且是村庄防洪系统的组成部分,这是该工程的另一特点。
- (4)该工程适合于土壤疏松多孔,湿陷性强且沟壑较深,沟坡上部陡峻的黄土区域侵蚀沟沟头,这种形式具有在该区域推广的特点。

### 5 工程回访调查

该工程通过建成后四年来的运行实证表明,运行安全良好,深受当地群众赞赏,是一种经济实用的沟头防护工程。

#### 参考文献:

[1] 杨才敏. 水土保持概[M]. 山西: 山西经济出版社, 2004.  
[2] 胡广录. 水土保持工程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.  
[3] 李友仁. 水土保持规划[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995.  
[4] 王玉德. 水土保持工程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.

#### (上接第271页)

[25] 韩恩贤, 韩刚, 薄颖生. 半干旱地区侧柏造林应用保水剂试验[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(3): 50- 52.  
[26] 王洪学, 金春梅. 应用高分子吸水剂处理苗木提高干旱地造林成活率[J]. 林业科技, 1999, (4): 10- 12.  
[27] 张海忠, 宋晓冬, 翟丽平. 吸水剂在樟子松造林中的应用[J]. 吉林林业科技, 2001, (8): 60- 62.  
[28] 赵昌军, 卢东平. 干旱半干旱地区先进造林技术与效益分析[J]. 中国水土保持, 2000, (12): 21- 22.  
[29] 王九龄, 孙健. 华北石质低山阳坡应用高吸水剂抗旱造林试验初报[J]. 林业科技通讯, 1984, (11): 16- 20.  
[30] 王海宁, 吴超. 一种路面抑尘高倍吸水树脂的研制[J]. 中南工业大学学报, 1995, 26(3): 319- 323.  
[31] 王海宁, 吴超. 高倍吸水剂及其在矿山防尘中的应用[J]. 江西冶金, 1995, (4): 27- 29.  
[32] 党秀丽, 张玉龙, 黄毅. 保水剂对土壤持水性能影响的模拟研究[J]. 农业工程学报, 2004, 21(4): 191- 192.  
[33] 宋廷茂, 郝建华, 赵权牢. 吸水剂在盆栽花卉上的应用技术的研究报告[J]. 北京林业大学学报, 1990, (4): 131- 134.  
[34] 张敦论, 乔勇进, 孙道英. 高分子吸水剂对沙质海岸土壤物理性能及造林成活率的影响[J]. 山东林业科技, 2000, 128(3): 9- 11.