

XIANGJIAOBA
JISHU JI YINGYONG

橡胶坝 技术及应用

王溥文 韩昌海 童中山 著

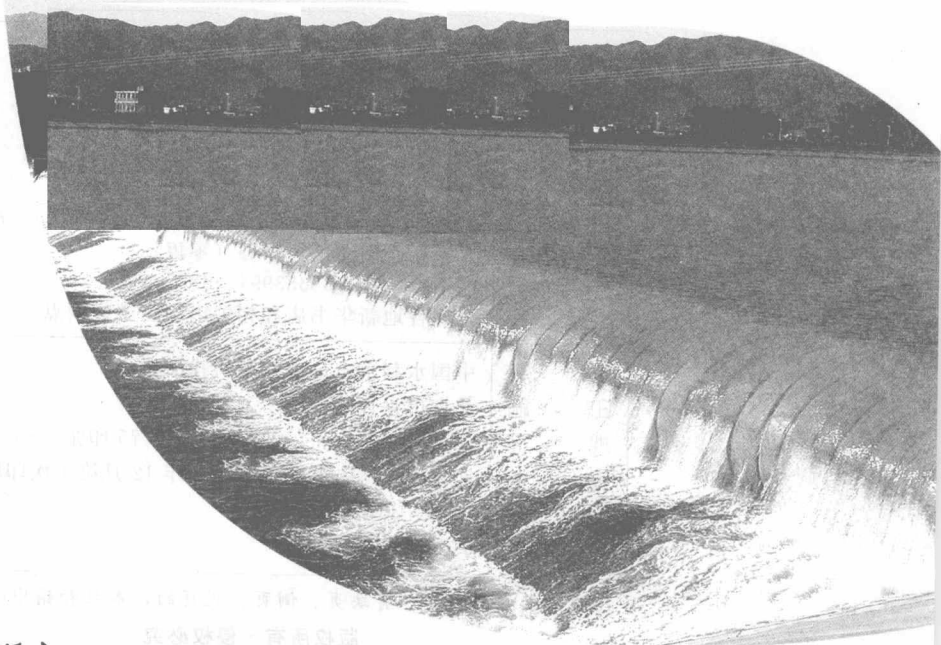


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

XIANGJIAOBA
JISHU JI YINGYONG

橡胶坝 技术及应用

王溥文 韩昌海 童中山 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面介绍了不同类型的橡胶坝建坝技术及其应用，是集水工和橡胶坝工艺制造等多个专业的综合性书籍。其内容包括：橡胶坝工程规划、坝袋设计、土建工程设计、锚固系统设计、控制系统设计、坝袋材料、坝袋制造工艺、工程施工与坝袋安装、工程运行管理、坝袋老化及防护措施、坝袋的振动及防护措施等。

本书可供从事橡胶坝坝袋制造和橡胶坝工程规划、设计、施工和运行管理的技术人员使用，也可供科研人员和大专院校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

橡胶坝技术及应用/王溥文，韩昌海，童中山著．—北京：中国水利水电出版社，2008
ISBN 978－7－5084－6119－9

I．橡… II．①王…②韩…③童… III．橡胶坝—工程技术 IV．TV644

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 191180 号

书 名	橡胶坝技术及应用
作 者	王溥文 韩昌海 童中山 著
出版发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号 100044） 网址：www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn
经 售	电话：（010）63202266（总机）、68367658（营销中心） 北京科水图书销售中心（零售） 电话：（010）88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 23.75 印张 563 千字
版 次	2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	65.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

序

橡胶坝是20世纪50年代出现的一种低水头挡水建筑物，广泛应用于灌溉、发电、航运以及生态保护等领域，具有结构简单、施工期短、造价低、坝袋抗震性能好、操作灵活及管理方便等优点。

自美国在洛杉矶河上建成第一座橡胶坝以后，日本、法国、荷兰等国先后兴建了不同结构型式的橡胶坝。我国自1965年开始研制建造橡胶坝，至今已有40余年的历史，建成橡胶坝已逾千座，而且输出到东南亚等地区。在此期间，水利科研和工程技术人员不断探索实践，在橡胶坝设计、制造、施工和运行管理等方面取得了丰硕实用的成果。

水利部高度重视橡胶坝技术的应用，1988年颁布了《橡胶坝技术指南》，1998年颁布了水利行业标准《橡胶坝技术规范》。国家工程建设标准《橡胶坝技术规范》已由建设部批准立项，正在编制中。近年来，为了应对水资源短缺和水环境恶化，我国橡胶坝工程建设快速发展，建坝要求不断提高。为了更好地适应橡胶坝的建设需要，迫切需要对橡胶坝技术进行系统总结和提高，《橡胶坝技术及应用》一书的出版恰逢其时且十分必要。

《橡胶坝技术及应用》一书系统地介绍了橡胶坝工程相关的科学知识，适当吸收了国内外这一领域的先进技术和实践经验，技术内容广泛而详尽，是作者王溥文等同志多年从事橡胶坝技术工作的研究成果和经验总结。本书主要包括不同类型橡胶坝的建坝技术、橡胶坝工程规划、橡胶坝制造工艺、坝袋结构型式、坝袋锚固型式、橡胶坝工程施工、橡胶坝控制系统、橡胶坝工程运行管理以及橡胶坝的老化和振动等内容，对于解决橡胶坝工程技术问题具有参考价值，对于提高我国橡胶坝工程建设水平亦具有重要意义。

水利部副部长



2008年11月

前言

橡胶坝是20世纪50年代出现的一种新型的低水头挡水建筑物。它的一个特点是其他材料闸坝所不具备的,即充胀坝体挡水而不漏水,排出坝内充胀介质坝袋塌落紧贴河渠底部,保持河渠原来的过水断面,可畅泄洪水和上游的泥沙、卵石和漂浮物而不阻水;充水式橡胶坝还可以随意调整坝高溢流,可控制上游水位或泄流量。它的第二个特点是坝体跨度大、结构简单、建设期短、节省投资。正因为以上特点,橡胶坝被广泛用于水利灌溉、水力发电、城市美化环境等领域。

我国橡胶坝建设已有40多年的历史,在橡胶坝技术研究、工程建设和运行管理等方面,基本上达到了世界先进水平,在坝袋结构和坝袋锚固等方面还有创新之处。这些成绩的取得,应该归功于我国水利、水电、化工、纺织等系统和高等院校、科研设计、工程建设等单位。这是他们协同研究、共同努力的结果。

我国于1965年完全依靠自己的力量开始研究橡胶坝技术,并于1966年6月成功地建成了第一座橡胶坝——北京右安门橡胶坝,同年又建成了广东省花县洪秀全水库橡胶坝。从历史进程看,我国橡胶坝建设有高潮也有低潮的时期,但总的来说处于前进趋势。至今我国已建成橡胶坝逾千座。从目前情况看来,发展势头越来越迅猛,因此对橡胶坝工程技术人员的水平要求也越来越高。为此,笔者结合多年的研究成果和工作经验,同时参考国内外专家学者著作和刊物资料,编著了本书。

本书特点在于内容比较系统全面,除水工建筑物方面知识外,还涉及到化学纤维、纺织、橡胶等专业知识,给橡胶坝领域研究者一个整体的概念。

本书特邀上官保山、邓绍会、付英、楼加仙、任泽垠、李鹏、查斌等专家著文论述在不同类型河床质上兴建橡胶坝的工程技术。这些无疑充实了本书内容,提高了本书的参考实用价值,在此深表谢意。同时还特请段文良、

陈庆亮、张建国等审阅有关章节，在此一并感谢。

在编著本书的过程中，得到了同仁、挚友李定方、李志雄、樊宝康、翟文亮、华贵兴、杨士学、刘振宏等的热忱帮助；另外，本书引用了许多专家、学者的研究成果，在此一并表示感谢。

全书由韩昌海统稿、定稿。本书的出版得到了南京水利科学研究院专著出版基金资助。

由于橡胶坝技术和应用技术的复杂性，加上我们实践经验不足，理论水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

作者

2008年10月于南京

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 橡胶坝的特点	1
第二节 橡胶坝技术的发展	2
参考文献	9
第二章 橡胶坝工程规划	11
第一节 基本资料	11
第二节 坝址选择	12
第三节 橡胶坝工程总体布置	13
第四节 经济效益分析和环境影响评价	15
参考文献	24
第三章 橡胶坝袋设计	25
第一节 充水式橡胶坝袋设计计算	25
第二节 充气式橡胶坝袋设计计算	37
第三节 气水混合式橡胶坝袋设计计算	42
第四节 无锚固橡胶坝设计计算	44
第五节 蓬式橡胶坝设计计算	59
参考文献	73
第四章 橡胶坝土建工程设计	74
第一节 坝底板结构布置	74
第二节 防渗和排水	76
第三节 消能防冲设计	84
第四节 上、下游防护结构及中墩、端墙（边墙）稳定计算荷载分布情况	88
第五节 坝基结构设计	93
第六节 坝底板结构应力分析	101
第七节 控制室设计	104
参考文献	104
第五章 橡胶坝袋锚固系统设计	105
第一节 橡胶坝型及锚固线布置形式	105

第二节 锚固结构型式及锚固力的计算公式	116
参考文献	134
第六章 橡胶坝控制系统设计	135
第一节 坝袋充排方式及管路布置	135
第二节 坝袋安全和监测设备	138
第三节 橡胶坝工程自动控制系统	143
参考文献	164
第七章 橡胶坝袋材料	165
第一节 坝袋帆布材料	165
第二节 橡胶材料	175
参考文献	184
第八章 橡胶坝袋制造工艺	186
第一节 表面有接缝的橡胶坝袋制造工艺	186
第二节 表面无缝的橡胶坝袋（整体硫化）制造工艺	196
第三节 橡胶坝袋规格和型号	200
参考文献	201
第九章 橡胶坝工程施工与坝袋安装	202
第一节 土建工程施工	202
第二节 橡胶坝袋安装	208
参考文献	211
第十章 橡胶坝工程运行管理	212
第一节 管理制度	212
第二节 管理工作	212
第三节 工程检查与观测	213
第四节 工程养护与维修	215
第五节 控制运用	223
参考文献	224
第十一章 橡胶坝袋老化及防护措施	225
第一节 老化定义与老化特征	225
第二节 老化因素及其作用	226
第三节 橡胶的氧化反应机理	228
第四节 老化实验和方法	229
第五节 老化指标和表示方法	231
第六节 老化的防护措施	232
第七节 坝袋老化特性和防老化措施	234
参考文献	236
第十二章 橡胶坝袋的振动及防振措施	237
第一节 坝袋振动的原因	237

第二节 防止坝袋振动的措施	239
参考文献	241
第十三章 橡胶坝工程实例	242
第一节 砂砾石(一)基础橡胶坝工程——洛阳市洛河同乐园橡胶坝工程	243
第二节 砂砾石(二)基础橡胶坝工程——浙江衢州塔底水利枢纽	263
第三节 粉土、黏土类基础橡胶坝工程——安阳河殷都橡胶坝、船闸枢纽工程	276
第四节 砂质土类基础橡胶坝工程——南阳白河第四级橡胶坝工程	292
第五节 低液限粉土类基础橡胶坝工程——三门峡苍龙涧河拦河工程	310
附录 I 考虑资金时间价值的折算因子表	318
附录 II 橡胶坝袋参数计算表	331
附录 III 橡胶坝坝面坐标表	342
附录 IV 椭圆积分表	360
附录 V 浸胶帆布	363
附录 VI 坝袋胶布	366

第一章 概 述

第一节 橡胶坝的特点

橡胶坝是20世纪50年代为满足工农业生产的需要,出现的一种新型的低水头挡水建筑物。它是以高强度合成纤维布为受力骨架,内外两面硫化氯丁橡胶层作为止水(气)层和保护层的胶布,按工程设计要求锚固在河道基础底板和端墙上,形成一个封闭的橡胶气囊,充水、充气或充水充气形成橡胶柔性体挡水。橡胶坝与其他土、石、钢、木刚性闸坝比较,第一个最突出的特点是充胀坝体挡水而不漏水,排空体内充胀介质坝袋塌落紧贴河床上,保持原河床断面,可畅泄洪水和上游堆积的泥沙、卵石和漂浮物而不阻水。充水式橡胶坝还可以随意调整坝高溢流,以确保上游水位或泄水量。橡胶坝第二个最突出的特点是单跨长度大。按理论分析,橡胶坝袋内部应力与外部对其作用力均垂直于坝轴线,因而与坝袋长度无关。坝袋单跨长度多取决于工程运行工况和坝袋运输、安装等因素。除此之外,橡胶坝工程还具有结构简单、施工期短、造价低、坝袋抗震性能好、操作灵活及管理方便等优点。橡胶坝工程包括橡胶坝袋、坝袋锚固系统、充排及控制系统三大部分,整个工程布置无复杂之处。作为工程主体部分橡胶坝袋,可在橡胶厂制造,与土建施工不相矛盾。一般橡胶坝工程当年施工、当年运用、当年受益。由于橡胶坝跨度大,可减少中墩数量和相应的闸门启闭动力设备,还可简化下游消能设施等,因此可减少工程投资。减少投资的比例视高分子合成材料工业的发展水平而定。根据我国实际情况,橡胶坝工程投资比一般同规模的刚性水闸工程投资可节省30%~60%,合成材料工业发达的国家,最优条件节省投资比例可达1:10~1:20。橡胶坝袋为柔性薄壳结构,重量轻而富有弹性,在外力作用下易发生形变,故能抵御强大的地震波和特大洪水的冲击。例如河北省唐山陡河橡胶坝,经受了1976年唐山烈度为10度的大地震的考验。河南省西平县五沟营橡胶坝遭受了“75.8”百年一遇的特大洪水考验,该坝在洪水来临时塌落泄洪,虽坝址处部分护坡坍塌,但坝袋仍安然无恙。橡胶坝的充排设备为水泵或空压机,动力设备简单,且可以实行集中控制,所以运行和管理极为灵活方便。但是,橡胶坝工程坝袋胶布是合成橡胶和合成纤维组合体,受日光、空气和水等作用,犹如岩石风化一样会发生老化。近年来,橡胶厂在坝袋胶布胶料中掺入防老化剂,以延长坝袋使用寿命,正常情况下橡胶坝袋可使用20年以上。橡胶坝袋的轻和柔是其优点,但其坚固性显然比钢、石、混凝土和钢筋混凝土差,坝袋容易被刺伤和磨损,刺伤和磨损处不及时维修,则会造成工程失事。因此,必须加强运行管理工作,以防止意外事故。

橡胶坝名称较多,以材料取名称之为橡胶坝、纤维坝、尼龙坝、塑料闸门和柔壳坝;以功能取名称之为可调节坝或可动坝。因橡胶坝是用介质充胀而成,故又名充胀坝或充胀

水闸。在我国称法也不统一,有的称为水坝、橡皮坝,工程技术人员多称之为橡胶坝。

第二节 橡胶坝技术的发展

一、国外橡胶坝技术的发展

橡胶坝是美国加利福尼亚州洛杉矶水利电力局工程师英勃特逊 (N. M. Imbertson) 所研制。当时洛杉矶河采用的是坝高 1.5m 的简易的木坝抬高水位,导引河水进入城市供水系统。由于该河水含沙量大,坝前所形成的蓄水池容易被淤塞,需要经常清淤,同时又因为冬季洪水容易冲垮木坝,需反复筑坝。这不仅增加费用,而且枯水期修坝时又不能蓄水,影响城市供水。拟建弧形门闸工程,但需投资 12 万多美元,且中墩阻水又影响泄洪量。在这种情况下英勃特逊设想一种洪水时暂时塌落在河床上宣泄洪水,枯水时能立起来蓄水的永久性挡水建筑物。他循此想法于 1957 年采用了氯丁橡胶布做成坝袋进行了中间试验。该试验坝高为 1.5m,坝长为 6.1m,坝袋胶布总厚为 3mm,坝袋胶布经向抗拉强度为 90kN/m。坝袋底部锚固在钢筋混凝土底板上,左端和右端分别固定于已有的木坝和河边的混凝土堤岸上,以堵住被洪水冲溃的缺口。经过 1958 年冬季大洪水考验后,证明这种装置挡、泄水是成功的。于是在 1959 年拆除了木坝建造了如图 1-1 所示的世界第一座氯丁橡胶坝。该坝高 1.83m,河床断面为梯形,底宽 40m,坝袋顶长 45.7m,坝袋周长 9.6m。采用二布三胶胶布,胶布厚 5.0mm,抗拉强度 90kN/m。采用螺栓压板式单线锚固。坝袋内充胀水体 227m³,充胀时间 25min,塌落时间 10min。该坝还采用虹吸管控制自动塌坝,即洪水时水位升高坝顶溢流,坝内压力增大超过虹吸管顶高,虹吸管随即出流,坝袋自行塌落,直到完全塌平为止。调整虹吸管顶高高度,还能够使坝袋充胀到设计高度以内的任何高度运用。经过多年运转,情况良好。该坝投资为 7.1 万美元,比弧形闸门坝工程的造价低,两者比例近于 1:2,该工程投产后每年可供水为 250 万 m³,价值为 7.5 万美元,一年内收回了整个工程投资。

由于橡胶坝具有刚性闸坝所不具备的特点,所以橡胶坝成为低水头挡水建筑物后发展较快。在洛杉矶河橡胶坝建成后,法国、前苏联、捷克、荷兰、德国、意大利、日本等国先后兴建了不同结构形式的橡胶坝,不断地发展了橡胶坝建坝技术。

(1) 美国于 1966 年在得克萨斯州贝城附近的科罗拉多河上建了一座水、气混合橡胶坝,用于蓄水灌溉。坝高 4m,坝长 70m,坝内充水高度 1.8m,其余充气。洪水来临时,坝袋内气体能迅速排出,气、水排空时间为 30min。1970 年美国又在宾夕法尼亚州的桑伯里城郊萨斯哈纳河上又兴建了一座水、气橡胶坝,坝内充水高度为 1.08m,其余 1.22m 充气,坝高为 2.3m。坝袋材料为尼龙氯丁胶布,充气充水管分建于底板两侧。1989 年美国 OHA 公司根据传统钢闸门和橡胶坝的特点,创造了水翼式闸门,亦称之为钢柔组合坝。所谓水翼式闸门,即是由一排强化钢板与橡胶坝组合而成,利用橡胶坝袋充、塌来带动强化钢板升降,起到挡水和泄洪作用,如图 1-2 水翼式闸门图(一)、图 1-3 水翼式闸门图(二)和图 1-4 水翼式闸门所示。

水翼式闸门具有钢闸门的优点,同时也具有橡胶坝的优点。强化钢板可抵御撞击力,

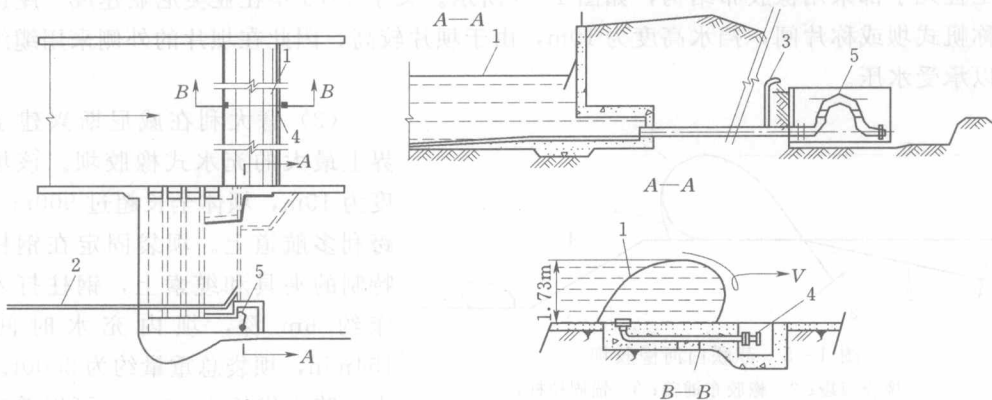


图 1-1 美国洛杉矶河橡胶坝图

1—橡胶坝；2—充排水管；3—溢流管；4—阀门；5—虹吸管

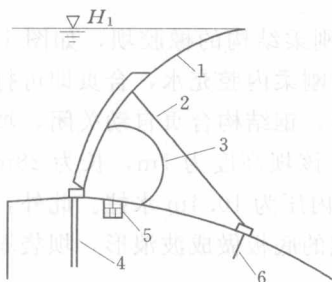


图 1-2 水翼式闸门图 (一)

1—强化钢板；2—橡皮拉条；
3—橡胶坝袋；4—底脚螺栓；
5—充排气槽；6—螺栓

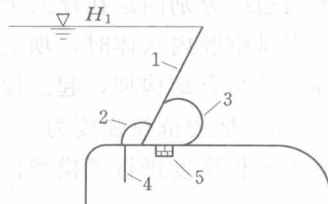


图 1-3 水翼式闸门图 (二)

1—面板；2—限位件；
3—橡胶坝袋；4—底脚螺栓；
5—充气管

因此适用于多砂、多石、多树、多竹和寒冷地区的河流上。因其塌坝泄洪时，坝袋被覆盖在强化钢板之下，不为石、树、竹和冰块所刺破，也不会受到泥沙的磨损。此外，该坝型若建于高原地区，还可以保护橡胶坝袋不受紫外线辐射而防止老化。又因为强化钢板与橡胶坝结合在一起，因此它的长度不受到限制。

第一座水翼式闸门于1989年建于纽约州，高0.61m，长89.3m。1993年在爱德华州建造的水翼式闸门，高1.83m，长131m。截至1995年，在加拿大和美国等地共建造30余座，最大坝高为3.75m。美国欧伯梅依尔水利工程公司（Obermeyer Hydro. Inc）兴建水翼式闸门较多。

(2) 前苏联于1970年在罗斯托夫区的白河上兴建橡胶坝，坝高2m，坝长24m。上游防渗铺盖和下游护坦均采用胶布，下游末端亦采用袋式小橡胶坝形成消力池。

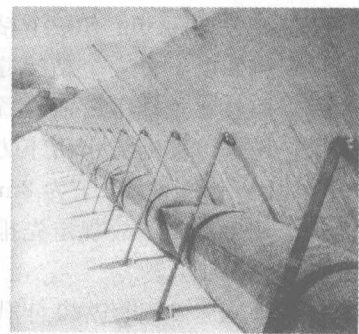


图 1-4 水翼式闸门

整个工程几乎都采用橡胶布结构,如图1-5所示。又于1976年在亚美尼亚建成一座蓬式坝也称帆式坝或称片闸,挡水高度为10m,由于坝片较高,因此在坝片的外侧采用缆绳网加固以承受水压。

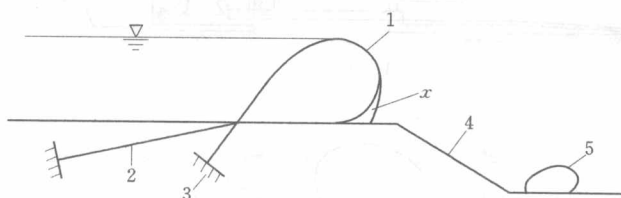


图 1-5 苏联白河橡胶坝

1—橡胶坝袋; 2—橡胶布铺盖; 3—锚固拉杆;
4—橡胶布护坦; 5—小橡胶坝袋

袋沉入海底,不影响航运和生态平衡。防潮时,向坝袋充入海水,坝顶高出海浪阻拦海水。

(4) 荷兰于1969年在阿姆斯特里河上建造一种刚柔结构的橡胶坝,如图1-6所示。坝袋上、下游两边缘分别固定在浮式金属合页上。向刚柔内腔充水,合页即可打开,坝体升起而挡水。当排空腔内水体时,坝袋胶布自动塌落,钢结构合页自动关闭,坝袋被盖在凹槽内。此种钢柔组合结构坝,起到保护坝袋作用,该坝高度为7m,长为28m、金属结构重量为3.8t/m,坝袋抗拉强度为227kN/m,坝袋内压为10.4m水柱。此外,荷兰为了缩窄钢筋混凝土底板宽度进行了模型试验,将橡胶坝的底板做成波浪形,坝袋塌落紧贴底板成波浪形。

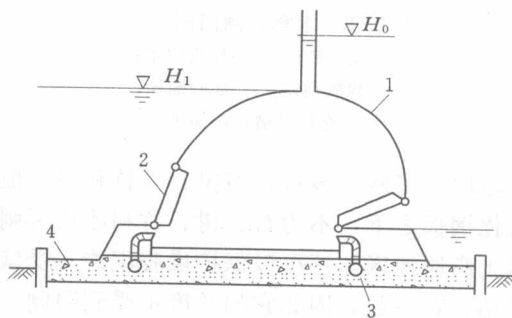


图 1-6 刚柔结合式橡胶坝

1—坝袋胶布; 2—钢质活页; 3—充排水管; 4—基础底板

(5) 巴基斯坦于1965年建成的曼格拉工程橡胶坝,坝高为3.1m,共3跨,总长213m,单跨长67m。为了增加溢流长度,将坝轴线做成折线形,折角为 $11^{\circ}\sim 15^{\circ}$,每个坝段有专用充排管路系统,充排水管直径为405mm和500mm。该坝袋由美国进口,坝袋胶布为4布5胶胶布,极限强度为390kN/m,帆布宽6m。坝袋沿轴线方向每6m有一个粘接缝,为了加强坝袋强度,每一个粘接缝粘接一个加劲圈,而且在坝体下游面设置橡胶的挑流鼻坎,用来破坏溢流水舌下方的真空,以减少坝袋振动。该坝顶允许最大过流水深为3.6m,坝内允许压力水头为8m,超过这个水头随即塌坝。塌坝过程中当坝袋塌落到一定程度时常发生振动,故规定先排空中间一跨坝袋,然后塌落两侧坝袋,并采用放水充气办法减轻坝体振动。

(6) 法国于20世纪60年代创造了蝌蚪式橡胶坝,并获得专利。这种坝的设计原理是,利用坝袋前面橡胶布片上的水体和坝袋内水体,与地基之间所产生的摩擦力,来抵抗

坝袋所承受的水平推力而稳住坝袋，胶布前沿用锚固桩起定位作用。

(7) 原捷克斯洛伐克于1964年在叶尔绍夫河上建成一座橡胶坝，坝高为0.8m、坝长为6m，该坝的兴建主要是为了取得橡胶坝冬季运行经验。经过冬季充坝挡水观测，坝前的水面结冰几天后，坝袋内的水体才结冰，而且两端锥形坝头先结冰，袋内结冰过程是由下而上的。当坝顶溢流时，坝内水体从未完全冻结。由于橡胶坝胶布是黑色吸收热量，故解冻时坝袋内的冰比袋外冰融化得快。

(8) 前东德于1970年兴建了一座橡胶坝，坝长为40m，坝高为1.1m，为了可以通过厚度为50cm的冰块，将坝袋分内外胎两层胶布，内胎充气外胎为保护层。

(9) 日本于1965年开始从美国引进橡胶坝技术。坝袋制造厂有住友电气工业株式会社，桥石轮胎株式会社，日本自动机工株式会社，丰国工业株式会社和横滨橡胶株式会社等。其中桥石轮胎株式会社生产表面无缝坝袋，而且在坝体下游面还设置连续或不连续的挑流鼻坎，以破坏溢流水舌下方的真空。此外，为了塌坝泄流时避免沙、石等物过坝刺伤坝袋，在底垫片上和坝袋内壁粘贴一层厚为7~15cm的塑料泡沫作为缓冲垫层。

二、我国橡胶坝技术的发展

我国于1965年在缺乏具体技术资料的情况下，开展橡胶坝技术研究工作，并组建了一个橡胶坝工程参观小组，赴香港考察大埔、桃溪、印度河等三座橡胶坝工程，初步了解了橡胶坝工程梗概。与此同时，北京市水利科学研究所和北京市水利勘测设计院共同开展了水工模型试验研究，并于1966年6月建成了我国第一座橡胶坝工程，即北京右安门橡胶坝工程。紧接着广东省建成了花县洪秀全水库橡胶坝。到1967年，一年时间内，先后在北京、广东、河北、湖南、四川等省市建成了十余座橡胶坝工程。在橡胶坝技术研究探索过程中，有成功的经验也有失败的教训。为此1967年11月在原水利电力部科学技术委员会和化学工业部北京橡胶总厂的主持下，召开了全国橡胶坝坝袋技术鉴定和经验交流会，对坝袋生产制造的技术指标进行了鉴定，并肯定了橡胶坝的发展方向。1968年初，又在广州召开了橡胶坝工作会议，决定组织有水力、电力、化工、纺织系统的科研、设计、生产制造和工程管理单位参加的“全国橡胶坝会战小组”，有计划有组织地开展了一些科学研究和调查总结工作，以推动橡胶坝技术的发展。嗣后，分别于1967年11月、1979年6月、1984年3月和1991年1月在北京、本溪、广州和天津召开了四次全国性的“橡胶坝技术经验交流会议”，其中在本溪会议上制订了《坝高5m以下充水式橡胶坝袋定型规格》，从此我国才有了实质性的橡胶坝袋制造技术文献。在此期间水利电力部水利司于1972年在安徽省灵璧县举办了橡胶坝袋粘补修理培训班；1985年3月水利电力部科技司、教育司在广州市举办了“橡胶坝技术推广学习班”；1994年3月水利部水利水电规划设计总院在桂林举办了“全国橡胶坝技术推广学习班”。此外，各省如山东、河北、江苏等也先后举办各种橡胶坝技术培训班。2001年9月河南省水利学会召开了橡胶坝技术经验交流会，并成立橡胶坝技术推广领导小组。2002年11月广东省水利厅召开了全省橡胶坝应用技术推广会议。这些会议的目的，旨在推广橡胶坝技术和兴建橡胶坝工程。

通过技术研究、总结提高和充实发展，我国橡胶坝技术现已达到世界先进水平。水

利电力规划设计总院于1986年和1988年先后在辽宁省大连市、四川省自贡市、安徽省灵璧县召开了全国性会议,讨论制订《橡胶坝技术指南》。1988年在广东省深圳市讨论通过,并于1989年7月颁布了我国第一部橡胶坝技术规程——《橡胶坝技术指南》。又于1992年9月在河北省承德市成立了“农田水利专业委员会橡胶坝学组”,于1994年在北京密云水库召开了全国橡胶坝技术研讨会,1995年“农田水利专业委员会橡胶坝学组”与中国灌溉排水技术开发培训中心等联合召开中日橡胶坝技术研讨会,1998年由水利部农村水利司主持制订了SL 227—98《橡胶坝技术规范》,并于1999年1月1日颁布实施。从此以后,我国建造橡胶坝工程有法可依了。到目前为止,我国不仅在国内建坝逾千座,而且还为孟加拉国、印度尼西亚、伊朗、泰国、越南等国建造了橡胶坝,输出了橡胶坝技术。

我国橡胶坝工程中,充水式橡胶坝袋约占95%,充气坝和气水混合坝约占5%。坝高一般在3m上下,近年来橡胶坝袋高度有上升趋势。已建的湖北省恩施市东门橡胶坝,坝袋计算高度6.15m,挡水高度6m。浙江省衢州塔底水利枢纽橡胶坝,坝袋设计高度5.4m,挡水高度5.25m,计算高度5.55m。目前橡胶坝单跨最长为172m,多跨最长是山东省临沂小浦东橡胶坝,总长度达1135m,创造吉尼斯最长的橡胶坝记录。

随着橡胶坝技术的发展,我国由初期的在小河道上、溢洪道上或水渠上修建橡胶坝,发展到在主河道上建造橡胶坝。例如山东沂河、河南洛河和白河、山西汾河、河北武烈河、浙江衢江等河流,均采用橡胶坝进行梯级开发。

我国目前建造橡胶坝工程的形势大好,不仅制造坝袋胶布的原料充足,而且还拥有诸如北京东光橡塑制品有限公司、沈阳第四橡胶厂、扬州合力橡胶制品有限公司、河北衡水佳兴工程橡胶有限公司、烟台天圣橡胶坝有限公司、烟台中策橡胶有限公司、青岛华海环保工业有限公司、青岛华夏橡胶工业有限公司等橡胶坝袋生产企业,均能在较短时间内向工程单位提供优质橡胶坝袋。另外,还有河南平顶山神马实业股份有限公司生产的优质锦纶66丝、天津科尔纺织品有限公司生产的优质坝袋帆布等是我国橡胶坝发展的坚实基础。

我国在橡胶坝袋制造工艺、坝袋结构型式、坝袋锚固结构以及坝袋设计计算等方面也相应得到了发展,并积累了丰富的经验。

(一) 橡胶坝袋制造工艺

我国早期生产橡胶坝袋是用幅宽约为1m的胶布采用冷粘方法拼粘而成。由于坝袋胶布是冷粘拼接,因此坝袋经向长度不受限制,所以当时还可以生产坝高为5m的坝袋。但冷粘的拼接缝是坝袋强度的薄弱环节,接缝是人工操作,环境和工艺难以达到标准,所以有的高坝工程曾因接缝强度不够而被撕裂。到1973年将冷粘改用热压合机粘接坝袋胶布接缝,此种工艺接缝处不仅强度得到提高,而且接缝平整光滑。但是当时建造的框架式热压合机最大跨度只有15m,只能压合坝高为3.5m以下的橡胶坝袋,因此在这个时期,国内建造的橡胶坝大多数坝袋高度在3m左右。为了满足工程的需要,一部分坝袋生产厂在20世纪90年代建造了跨度不受限制的卧式热压合机,以制造高坝橡胶坝袋,从此恢复了制造坝高为5m以下的坝袋。1993年广州第六橡胶厂率先改造原设备,采取加宽热压合机上下热板和提高单位压强相结合的方法,进行整体硫化橡胶坝袋胶布。1998年烟台天圣橡胶坝有限公司制造长为33m大型卧式热压合硫化机,可以整体硫化坝高为6m的坝袋

胶布。

(二) 坝袋结构型式

1. 枕式橡胶坝

端头锚固坝，是将橡胶坝端头锚固在端墙（边墙或中墩）上的橡胶坝，是橡胶坝工程的基本型式。国内外橡胶坝工程一般多采用端头锚固坝，但端头锚固坝坝体在坡脚处会产生较深的沿水平轴的褶皱。褶皱的深度与端墙坡度有关。端墙或中墩的坡度为 $1:2 \sim 1:2.5$ 时褶皱得到改善，坡度达到 $1:3$ 时褶皱较小。褶皱处溢流降低了坝袋有效挡水高度，故改变端墙上的锚固线型式，将坝袋水平褶皱变为沿竖轴褶皱，可消除坡脚处的溢水，但褶皱现象仍未消除。褶皱处的胶布的应力比较复杂，其纬向应力约为坝袋经向拉力的 $2/3$ ，甚至大于经向应力。不仅如此，褶皱处的坝袋胶布由于长期处于褶皱状态，坝袋胶布容易老化和脱胶，缩短坝袋使用寿命。为此，辽宁省水利科学研究所研制了端墙为直墙的枕式坝型。

所谓枕式坝，是因其充胀后坝袋形似枕头而得名，如图 1-7 所示。枕式坝袋两端与端墙自由接触，仅底部锚固在钢筋混凝土底板上。坝袋两端粘结的堵头胶布为设计工况的坝袋断面形状，充坝时依靠坝袋内水压力将堵头压贴在端墙上 come 止水。坝袋充胀后，整个坝体断面基本相同。这种坝型虽有坝袋堵头与端墙接触处的摩擦而产生塌肩，以及泄洪塌坝时堵头堆积在端墙脚处而阻水，但因其具有坝体无褶皱、应力分布均匀和纬向应力远小于经向应力，以及坝体平直美观的优点，所以很快在全国得到推广。

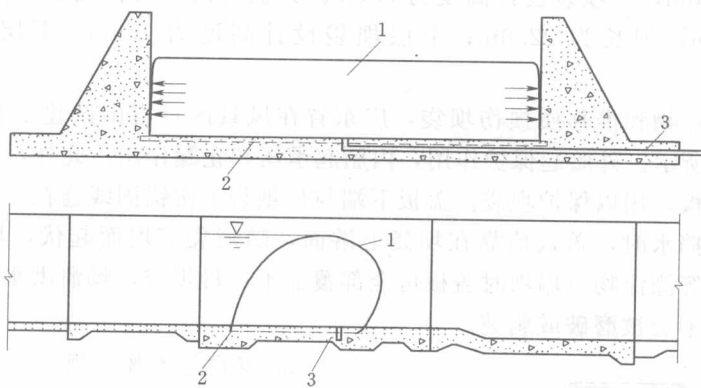


图 1-7 枕式橡胶坝

1—胶坝袋；2—锚固槽；3—充排管

20 世纪 80 年代辽宁省橡胶坝技术发展速度较快，在枕式坝的基础上，还兴建了枕式分段对接坝（无中墩），以保持原河床泄洪断面。为了解决枕式坝坝袋塌肩溢水问题，工程人员还创建了胸墙坝，如图 1-8 所示。胸墙下沿曲线形状与坝袋充胀到设计高度时上游坝面形状相同。

2. 双层橡胶坝（又称子母坝）

1973 年将坝袋冷粘改为热压合，因受热压机跨度的限制，橡胶坝制造厂无法制造高坝坝袋。但有的工程为了挡水需要，例如河北沧州坝高为 5.0m 橡胶坝袋，不得不又采

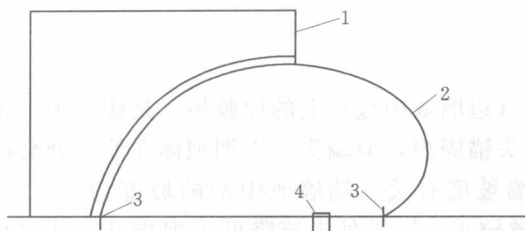


图 1-8 胸墙式橡胶坝

1—胸墙；2—橡胶坝袋；3—锚固槽；4—充排管

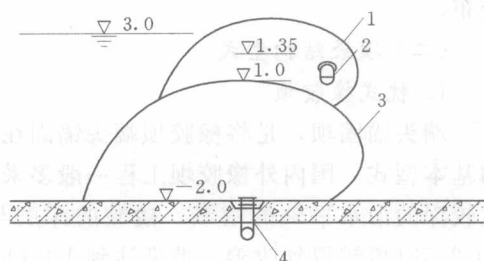


图 1-9 天津市潮北河橡胶坝图

1—上坝袋；2—上坝袋充排软管；
3—下坝袋；4—下坝袋充排管

用冷粘方法拼缝。为此，广东省水利水电勘测设计研究院研制了双层坝袋，又称之为子母坝，如图 1-9 所示，目的在于提高坝袋高度。通过模型试验，证实该坝型是有可能用于实际工程的，因此 1981 年在广东省深圳水库溢洪道人工湖上进行了中间试验。该试验坝设计高度为 2.0m，底层母坝袋高为 1.2m，锚固在底板上，上层子坝袋高 0.8m，锚固在底层母坝袋上；坝总长为 26.6m，共分 3 跨，中间一跨长为 9.6m，两个边跨长均为 8.5m；该子坝和母坝可同时充胀或分层充胀挡水，也可同时塌坝或分层塌坝泄洪。国内最高子母坝，坝高为 5.0m，1989 年建于天津市潮北河上；该坝底长为 90m，顶长为 125m；上坝袋设计高度为 2.0m，下坝袋设计高度为 3.0m。其次是河北省保定县旺隆水库子母橡胶坝，坝高为 4.0m，坝长为 22.0m；上层坝袋设计高度为 1.6m，下层坝袋设计高度为 2.4m。

为了防止漂浮物和推移质损伤坝袋，广东省在风景区丹霞山试建了有内外胎的子母坝，如图 1-10 所示。外胎起保护作用，内胎起承压和止漏作用。此外，在坝体的上游加设一道折线形盖板，用以保护坝袋。盖板下端与母坝袋上游锚固线连在一起，上端为自由端。当充胀坝袋挡水时，盖板倚靠在坝袋上游面，随坝袋充塌而起伏，坝顶溢流时可过树、木、竹、草等漂浮物。塌坝时盖板可全部覆盖子、母坝袋，畅泄洪水和上游河床砂石等推移质，坝袋不会被磨破或刺破。

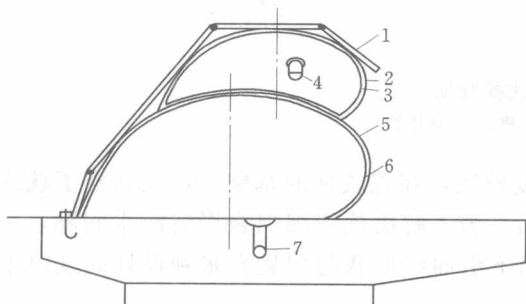


图 1-10 内外胎式子母坝

1—盖板；2—子坝袋外胎；3—子坝袋内胎；
4—子坝袋充排管；5—母坝袋外胎；
6—母坝袋内胎；7—母坝袋充排管

3. 双向挡水橡胶坝

河口地区或渠道，上下游水位相互交替，无上下游之分，时而坝左侧出现设计水位，时而坝右侧出现设计水位。在这些地区建造橡胶坝，必须将坝袋和锚固线设计成双向挡水形式。中国水利水电科学研究院首先研制了端墙锚固双向挡水坝型，并于 1992 年在湖北省和河南省引丹总干渠上分别建成了坝高为 4m 的橡胶坝。该两座端墙锚固坝袋双向挡水，主要措施是将端墙斜坡上锚固线改成对称型。