

平原水库工程技术研究与实践



王殿武 于本洋 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑 林 京

Email: LJ@waterpub.com.cn

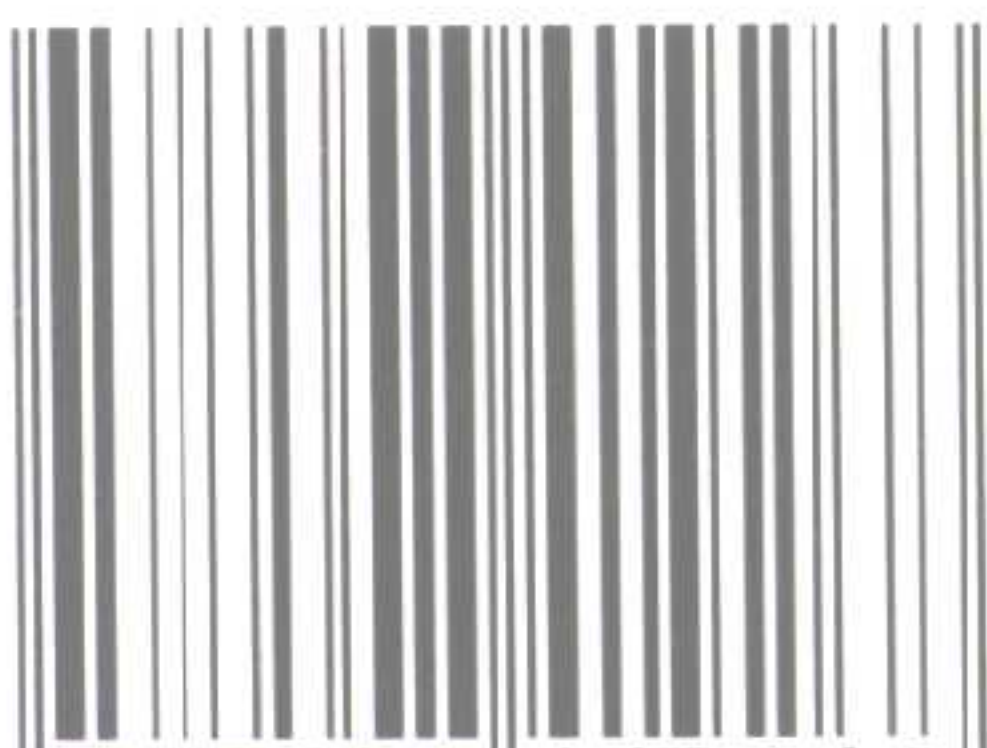
Tel: 63202266-2606

作者简介

王殿武 (1962年7月28日~), 男 西安理工大学岩土工程学科博士研究生, 曾任辽宁省水利水电科学研究院副院长, 现任辽宁省水文水资源勘测局局长、教授级高级工程师。为享受政府特殊津贴专家、辽宁省优秀专家。

于本洋 (1960年10月~), 男 研究生学历, 教授级高级工程师, 曾任辽宁省计划委员会农业处副处长, 辽宁省水利厅计划财务处处长, 现任辽宁润中供水有限责任公司总经理兼大伙房水库输水工程建设局局长。

ISBN 7-5084-1926-X



9 787508 419268 >

ISBN 7-5084-1926-X / TV · 445

定价: 20.00元

平原水库工程技术 研究与实践

王殿武 于本洋 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目 (C I P) 数据

平原水库工程技术研究与实践 / 王殿武, 于本洋编著.
北京: 中国水利水电出版社, 2004. 3
ISBN 7-5084-1926-X

I. 平... II. ①王...②于... III. 水库—水利工程
IV. TV62

中国版本图书馆CIP数据核字 (2004) 第009098号

书 作 出 版 经 售	名 著 者 发 行 售	平原水库工程技术研究与实践 王殿武 于本洋 编著 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 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 印 规 版 印 定	版 刷 格 次 数 价	中国水利水电出版社微机排版中心 北京市兴怀印刷厂 850mm×1168mm 32 开本 6.625 印张 178 千字 2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷 0001—2100 册 20.00 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

本书是根据辽宁省科学技术计划重大项目“平原水库工程技术研究”的主要成果及国内外相关资料研究分析撰写而成的。书中介绍了国内外平原水库工程技术现状和发展趋势,结合多年研究成果和经验,重点论述了具有创新特点的平原水库土坝填筑技术、迎水面护坡技术、防渗技术以及软基处理新技术。大洼三角洲平原水库“双向泵”泵站工程的设计与施工以及大洼三角洲平原水库工程的施工技术标准,对类似工程具有重要借鉴价值和推广意义。本书可供科研、大专院校研究人员和师生参考,也可供有关建设、设计、施工及管理部門的广大工程技术人员和管理人员参考。

前言

我国在松嫩平原、辽河平原及黄、淮、海河平原开发过程中，修建了大量的平原水库，并还计划修建多座平原水库。这些平原水库对解决平原地区的防洪、灌溉、养殖、油田开发以及工农业生产的发展和人民生活的饮水，起到了非常重要的作用。多年的实践表明，平原水库与山区型水库相比具有明显的差异，尤其是严寒地区的平原水库工程，更有其独有的特征：①坝轴线多为圆形、椭圆形或折线形；②坝线长、水面吹程长，风浪爬坡而产生的越浪（风浪顺迎水坡爬升挑起越过坝顶落在背水坡的现象）问题难以解决；③一般坝高为2~8m，超过10m坝高的平原水库工程很少见；④土坝（围堤）迎水坡护坡工程投资约占工程总投资的40%~50%（山区型水库一般还不到10%）；⑤平原水库区适宜筑坝的表层黏壤土土层薄，基础多为较深的粉细砂土，存在的渗漏和造成周围地区次生盐渍化问题；⑥平原水库一般没有发电任务；⑦严寒地区土坝迎水坡遭受冰冻破坏严重。

根据对我国北方地区已建成的平原水库工程的实际调查发现，尽管在平原水库工程设计、施工及

建设管理过程中，进行了很多试验研究工作，但尚未取得可靠的理论和应用技术成果，下面一些问题还需要研究解决：①如何就地取材，用滨海或低洼沼泽地区高含水量土壤筑坝，或用当地丰富的粉细砂筑坝技术问题；②平原水库坝体、坝基防渗问题；③平原水库土坝的护坡问题；④水库枢纽泵站结构型式问题；⑤风浪、冰压力、冻胀等设计参数的确定选用问题。鉴于国内外有关平原水库工程技术方面的专著甚为稀少，现基于辽宁省大洼三角洲平原水库工程建设开展的“平原水库工程技术研究”主要成果及多年积累的理论知识与实践经验编著的此书，以推动平原水库工程技术的发展。

全书共分六部分：平原水库的基本特征及主要技术问题；大洼三角洲平原水库土坝填筑；平原水库土坝软基处理；平原水库土坝护坡工程；平原水库防渗工程；大洼三角洲平原水库双向泵站工程设计与施工。由于时间和水平有限，书中难免有误，恳请读者批评指正。

作 者

2003 年 6 月

目录

前言

1	第一章	平原水库的基本特征及主要技术问题
1	第一节	平原水库的基本特征
2	第二节	平原水库主要技术问题
16	第二章	大洼三角洲平原水库土坝填筑
16	第一节	气象与水文
19	第二节	工程地质及土工试验分析成果
25	第三节	土坝断面设计
34	第四节	土坝填筑碾压试验
41	第五节	土坝填筑
43	第六节	土坝填筑质量控制标准及成果分析
47	第七节	结论
49	第三章	平原水库土坝软基处理
49	第一节	堤坝软基处理技术现状及发展
60	第二节	大洼三角洲平原水库土坝软基处理技术
68	第三节	土工织物处理软基的效果分析
71	第四章	平原水库土坝护坡工程
71	第一节	疙瘩楼平原水库护坡工程试验
80	第二节	大洼三角洲平原水库机织模袋混凝土护坡试验工程
101	第三节	链锁混凝土板护坡工程试验
106	第四节	工程原型观测
112	第五节	平原水库土坝护坡结构型式分析及工程设计参数

127	第六节	大洼三角洲平原水库机织模袋混凝土护坡工程施工质量评定标准
139	第五章	平原水库防渗工程
139	第一节	概述
140	第二节	平原水库土坝渗透破坏原因
143	第三节	平原水库土坝防渗处理方案
157	第四节	平原水库防渗工程设计
162	第五节	工程实例
176	第六节	效益分析及发展前景
178	第六章	大洼三角洲平原水库双向泵站工程设计与施工
178	第一节	概述
178	第二节	枢纽泵站的主要设计参数
180	第三节	泵站的结构型式选择与比较
186	第四节	泵站枢纽工程的施工
190	第五节	工程质量检测与分析
194	第六节	“双向泵”的运行效果
197	后记	
203	参考文献	

第一章

平原水库的基本特征及 主要技术问题

第一节 平原水库的基本特征

通常所讲的水库是指在河道、山区、低洼地有水源或可以从另一河道（渠）引入水源的地方修建的挡水坝（闸）或堤堰而形成的蓄水场所；或在有隔水条件的地下透水层修建截水墙而形成的蓄水场所。若蓄水主要靠地表下的岩隙或空间，则称地下水库。平原水库是相对于山丘区水库而言的，其一般位于大江、大河下游冲积平原地区，如我国松嫩平原、辽河平原、黄河、淮河、海河下游平原及内蒙古、新疆等地区就修筑有大量平原水库。这类地区地质的普遍特点是表层为黏土或亚黏土，下部为砂土。由于这些地区距离海岸较近，大部分为低洼易涝盐碱地。因受地理位置、气候、区域地质等影响，平原水库相对于山丘区水库有其独有的特征。

由于没有有利的地形条件可利用，需要修筑一个封闭的土坝，坝轴线多为圆形、椭圆形或折线形。同时，由于坝线较长，占地面积大，水面吹程长而造成的风浪爬坡引起的越浪（风浪顺迎水坡爬升挑起越过坝顶落在背水坡的现象）问题难以解决，因而一般坝高为 2~8m，超过 10m 坝高的平原水库工程很少见。平原水库大多坐落在滨海或低洼沼泽且缺少砂石料的地区，所修筑的土坝一般为均质土坝，迎水坡坡比一般为 1 : 2.5~1 : 3.0，土坝断

面较大。平原地区表层的黏土及亚黏土较薄，下部一般为渗透系数较大的粉细砂，其物理力学性能指标不满足筑坝要求。远距离取土花费很大，同时，由于基础存在的渗漏问题也不能把坝筑得过高，而且还要防止周围地区次生盐渍化。我国在 1958~1960 年及 1966~1976 年两个非常年代修筑的许多平原水库大都存在坝体、坝基渗漏问题。由于缺少砂石材料，致使平原水库土坝（围堤）迎水坡护坡工程投资要占工程总投资的 40%~50%，而山区型水库一般不到 10%。由于水头较小，平原水库一般没有发电任务。

第二节 平原水库主要技术问题

一、筑坝材料选择及筑坝技术问题

平原水库一般为均质土坝，土料选用当地黏土或粉质黏土，但由于平原水库土坝设计断面肥大，还需用大量的外运土。往往水库库区表层黏土或粉质黏土厚度较薄，下部为渗透系数较大的粉细砂，厚度较厚，因而上部的黏土不能全部取走，否则粉细砂出露，水库易出现较为严重的渗漏问题。天然土壤是既复杂而又多种多样的材料，在大体积筑坝中，首选的是分布广且价格低廉的当地土料。但是，某些地方的土料全部或部分不符合筑坝的要求也是常见的。因此，设计者的责任在于针对坝址附近所找到的土石料的性质进行合理的设计，根据其特点可置于坝体的不同部位，必要时，也可采取一些工程措施，来解决某些方面的不足。也可以通过多种途径来改变土壤的性质，包括化学的、热的、机械的和其他的方法。但必须认识到每一种方法只适用于某些种类的土壤。在《土壤稳定原理与实践》一书中，把改性法称为土壤稳定法。对不同土壤适应的改性方法如表 1-1 所示。

许多工程根据其土料的实际情况，由过去采用纯细粒土作防渗料，而走向以砾石土或软岩风化料作防渗料。一般来说用粉细砂修筑均质土坝，其渗透系数指标不满足工程渗流稳定的要求，

表 1-1 土壤稳定法的应用

项 目	细黏土	粗黏土	细粉砂	粗粉砂	细砂	粗砂
土颗粒尺寸 (mm)	<0.0006	0.0006~ 0.002	0.002~ 0.01	0.01~ 0.06	0.06~ 0.4	0.4~ 2.0
土壤体积 稳定性	差	中等	中等	好	很好	很好
所用 稳定 方法	石灰	#####				
	水泥	#####				
	沥青	#####				
	聚合有机物	#####				
	机械法	#####				
	热法	#####				

注 ###有效范围；...有效，但质量控制困难。

但是采取一些工程措施（如加土工膜心墙）是可以达到设计要求的。粉细砂内摩擦角为 30°左右，高于一般的黏性土，关键是如何提高其黏聚力。国外通过一些工程措施，对砂土进行改性后，甚至可以作为心墙土石坝的防渗心墙。如德国拜恩州东北部弗尔兹河上的 1 号心墙坝，坝高 31.6m，因弗尔兹坝区土料缺乏，心墙土料只能用基岩风化而成的残积粉砂（细颗粒含量较少，渗透系数为 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ）。粉砂作为防渗体渗透系数偏大，抗冲刷能力不强，即使心墙所承受的水力梯度不大，心墙两侧也要设置较厚的反滤层。但因土料不足，心墙只能采用较薄的断面，而且坝区附近反滤料也不足。总之，由于坝区附近的天然土石料不能满足坝体抗渗要求，为加强心墙的防渗能力，而采用了水泥土心墙。弗尔兹 1 号坝水泥土材料经多次试验后的配比为：砂 1331kg，粉碎黏土料 153kg，水泥 90kg，其混合料的干密度为 1.6t/m^3 ，加水 400kg/m^3 拌和，拌和料的密度为 2t/m^3 ，坍落度较小，按此配比水泥掺量为 4.5%。

针对无黏性土筑坝需要很缓的下游坝坡这一点，国内外也有

许多专家对粉细砂土进行改性研究,上述的掺加水泥是一种方法,其他有掺加黏土、粉煤灰、石灰等。无论采用何种方法,都是弥补粉细砂料中粉粒组($0.075\sim0.005\text{mm}$)和黏粒组($<0.005\text{mm}$)不足的问题,从而提高粉细砂的黏聚力 C 。

20 世纪 80 年代以来发展起来的土工合成材料应用领域广阔,特别是利用土工合成材料进行土体加筋技术已在水利、公路、铁路、港口等建筑工程上得到了广泛应用,归纳起来大致可分为支挡结构、陡坡和软基加筋三个方面。因此,可使用土工合成材料加筋粉细砂技术修筑土坝,或用土工合成材料进行软基处理。

二、平原水库防渗技术问题

水库渗漏不仅直接影响到水库的正常运行,严重的将危及水库土坝的安全。由于平原水库位于江河中下游冲积平原,表层为黏土或亚黏土,厚度较薄,下部为粉细砂,渗透较大,厚度较厚。因此,平原水库易出现渗漏问题。解决平原水库渗漏问题,必须采取工程措施。一般来说,平原水库所处地区,不透水地基埋深较深,如采用封闭防渗工程措施造价高、施工难度大。一个较为有效的措施是采用增加渗径的方法,如采用高压喷射灌浆、垂直铺塑防渗、射水法地下连续墙等技术。

高压喷射灌浆技术是 20 世纪 80 年代中期发展起来的一项地基处理技术,它可以加固软土地基,建造地下连续墙以达到防渗的目的。它是利用工程钻机造孔,将高压喷射灌浆管置于预计的地基加固深度,然后使浆管按设计要求慢慢上升或边升边转。管下端的高压水细流射流,对地下土层进行切割。与此同时,预先配制好的浆液,由喷浆嘴喷出,使被扰动的土体与浆液混合,凝聚固结。这种凝结的混合体被称为固结体。每孔所喷射成的固结体的形状,可以是板状或圆柱状。每个孔的固结体相交,便形成地下连续墙。固结体的强度可达 $1\sim12\text{MPa}$,渗透系数可达 $1\times10^{-8}\sim1\times10^{-6}\text{cm/s}$,是理想的承载体或防渗体。用高压喷射灌浆技术适合在平原水库地下渗流流速较低的情况,若水库蓄水后,水

库渗流流速较大，用此方法进行防渗加固施工，其难度较大。

垂直铺塑技术主要是采用开沟造槽设备构筑地下连续沟槽，将防渗土工膜垂直铺入槽内形成连续或封闭的防渗结构，用以防止地基及水工建筑物产生流土、管涌等渗透破坏的一种施工技术。因其具有应用前景广阔、防渗效果好、施工速度快、操作简便易行、造价低廉等优点。20世纪80年代末90年代初，我国部分省市对该技术在水利工程上的应用都先后开展了一些研究，研制并开发出各种形式的开沟造槽设备，如锯槽机、链条机、射水开槽机等，其工作方式有旋转式、往复式和压力式等。国内许多平原水库进行了垂直铺塑防渗工程，如辽宁友邻水库、东风水库，山东省的青年水库、孤山水库、东郊水库，新疆红旗水库等。

射水法建造地下连续墙技术是利用密集的高速水流将土石颗粒带出地面，并依靠一个特制的成型造孔装置将高速水射流冲击地基土壤，将其破碎成为悬浮的土块或颗粒后，依靠快速流动的水流将其带出地面，同时，一个特制的成型造孔装置将被高速水射流形成的不规则的孔洞切成所需要的形状，在所切成的孔洞中灌入事先配制好的防渗材料，如此一个个孔洞相互连接便成为连续地下防渗墙。1998年长江、松花江及嫩江大洪水后，国家投入巨资加固堤防，并在防渗工程上引进德、法、日等国家的新设备、新技术构筑超薄防渗墙，使我国堤坝防渗技术又前进了一步。

三、平原水库土坝护坡技术问题

我国北方地区的平原水库存在着土坝护坡受风浪、冰压力、冻胀作用破坏的问题。由于平原水库水面大、风速大、吹程长，风浪是造成护坡大面积破坏的直接原因；冰压力将护坡推移造成局部破坏是造成风浪作用下大面积破坏的先导；坝体的不均匀冻胀加剧了冰压力和风浪对护坡的破坏作用。据资料介绍，块石（干砌石或抛石）是最理想的护坡材料，在严寒地区护砌厚度一般应达到0.70~0.95m才能保证土坝护坡不遭到冰推破坏，如采用混凝土板，其厚度小于0.2m就难抵住1.2m高的波浪所产生的压力。由于平原水库护坡工程投资要占土坝工程总投资40%以上，

受经济条件制约，我国北方地区多数中小型平原水库的护坡砌石厚度大多为 0.3~0.4m，混凝土板厚为 0.1~0.2m，有的小型平原水库根本没有护砌。因此，平原水库护坡工程方案的选择历来是平原水库工程设计和施工的关键问题之一。

国内外在平原水库护坡工程方面进行了许多试验研究和工程实践，取得了许多研究成果，也积累了一些宝贵的工程经验。在我国北方地区平原水库采用的护坡形式主要有干砌石、浆砌石、混凝土板（现浇或预制）、模袋混凝土（机织、人工缝制）及预制混凝土连锁板等，工程实例如下。

1. 干砌石类护坡

吉林省太平池水库，库容 2.0 亿 m^3 ，主坝长 3.2km，主要以防洪为主，保护农田 22 万亩，灌溉 1.7 万亩，于 1943 年修建，1958 年重建。筑坝土质为砂壤土，坝高 6.0m 左右。该地区冻深 1.5m，冰厚 0.8~1.1m，最低气温 -32°C ，冰压力 343kPa（1970 年测）。水库重建后护坡多次翻修，曾采用阶梯式护坡型式，其干砌石护坡厚度 30cm，下设碎石垫层 40cm，基础为钢筋混凝土梁 30cm $\times$ 80cm，于 1987 年翻修重建。据调查，由于受经济条件制约护砌厚度达不到安全稳定厚度，块石粒径也难以达到设计尺寸，施工质量不可避免地出现“外塞石（不规则块石干砌时缝隙过大需用较小石块塞填，塞填的石块由于较小而容易受风浪等因素作用失稳）”、“摇大面（设计砌石厚度较薄为达到表面平整而使块石大面朝上，自然砌石稳定性就较差）”、“直落缝（设计砌石厚度较薄单层块石砌筑即可，而形成的直接接触坡面的缝隙，容易使坡面受水流或风浪淘刷）”，因而对于寒冷地区 40~60cm（含垫层厚度 10~20cm）厚干砌石护坡存在着受冰冻和冻胀破坏两个无法解决的问题，具体表现为：一是库面的冰体和护坡石冻结在一起，开化时或水库冰面发生塌落时，将块石拽出带走；二是在冰面上 2~3m 范围内隆起、出现裂缝，被冰体推移造成整体性破坏。上述两种情况如得不到及时修复，待开化后，在风浪作用下，土坝土体即会被淘刷，块石脱落，从而造成护坡大面积破坏，每年维修工程

量很大,年年修,年年坏。后期采用方条石护坡,其条石尺寸 $40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 40\text{cm}$,下设 40cm 砂石垫层,换填厚度为冻深的 53% ,于 1986 年修建。该结构在冰推、冻胀、风浪的综合作用下有较好的抵抗能力,曾经冰壅 $20 \sim 30\text{m}$ 没有出现问题,在冬季水位变化区没有出现凸起、剥蚀、淘刷等破坏现象,这是一种较好的防护型式,但造价很高(约 $300\text{元}/\text{m}^2$)。

2. 浆砌石护坡

天津市北塘水库在 1985 年冬由于受静冰压力作用,浆砌石护坡段土坝坝体产生变形。同年,引滦工程中新建的尔王庄水库,由于冰盖沿浆砌石护面爬坡,推倒防浪墙 372m 。尔王庄水库总库容为 4500万 m^3 ,迎水坡护坡为 40cm 浆砌石、 20cm 砂砾料反滤层。天津市水利科学研究所于 1986~1987 年在尔王庄水库先后做了 400m 不同墩型的引滑墩防冰试验段。经过三个冬季的运行观测,引滑墩达到了引滑防冰推目的。天津地区经过人工缓坡,生物防护、干砌石护坡失败后,浆砌石护坡在通过几年实践检验后认为是较为理想的一种护坡型式。其主要问题是:施工质量难以达到设计要求,致使运行后石块缝隙的水泥砂浆脱落;要求表面砌筑平正,糙率要低,才能具有引滑作用,配合引滑墩达到防止冰推破坏的目的;浆砌石盖层下必须设置反滤层(砂砾料、无纺布均可);年维修费用少,但一次性投资较大。

3. 混凝土板护坡

天津市北塘等水库利用混凝土预制块护坡,采用 $50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 15\text{cm}$ 的混凝土预制块,坡比为 $1:1.5 \sim 1:3.0$ 。不设封顶,不铺垫层,由于厚度满足不了迎水坡土体的防冻要求,春季气温回升后,迎水坡土体因解冻而软化,在冻融循环作用下,不均匀冻胀和沉陷,破坏了护面的整体性,致使相邻块体相对错动。受风浪作用时,土坝迎水坡产生淘刷,土体流失,护面大面积架空和塌陷。粗糙的护坡面层阻碍了冰体爬升。巨大的静冰压力使护坡遭到大面积推移破坏,混凝土表面砂浆粉化脱落,碎石裸露现象严重。但是,较大尺寸混凝土预制板效果较好。1988 年春天

津市又进行了现浇混凝土护坡试验,尺寸为 $100\text{cm} \times 100\text{cm} \times (12 \sim 15)\text{cm}$,垫层为无纺布。其优点是:①可以直接按设计坡比保证平整度,减少护坡的糙率系数;②现浇可以采用隔一打一办法,利用已成块体做模板,从而提高模板利用率,节约木材;③占地少、工效快,减少搬运和衬砌过程中混凝土板的损坏量。面部每两条纵向伸缩缝距离为 10m ,采用 1.0cm 厚聚苯烯泡沫板做隔层,混凝土设计强度 C20,经一年运行,效果良好。

黑龙江省泥河水库护坡工程:泥河水库位于黑龙江省的兰西县,是一座大型平原水库(库容 1亿 m^3),黏性土均质坝,坝长 6160m ,其中主坝段长 4310m ,坝高 4.2m ,上游坝坡 $1:3$,下游坝坡 $1:2.5$ 。坝顶高程 136.2m ,固脚顶高程 131.5m 。主坝上游坝坡从 $131.5 \sim 134.24\text{m}$ 采用厚 8cm 的沥青渣油混凝土垫层,其上平铺 $0.5\text{cm} \times 0.5\text{cm} \times 0.15\text{cm}$ 的混凝土预制板护坡, 134.24m 以上至坝顶为厚 8cm 的单一沥青渣油混凝土护坡。仅桩号 $1+750 \sim 2+500\text{m}$ (长 750m) 坝段为干砌石护坡,大块石干砌厚度为 40cm ,下设二级配的碎石反滤垫层,各 20cm ,护坡总厚度 80cm 。水库于 1976 年 10 月竣工蓄水,设计水位 133.7m ,校核洪水位 134.2m 。水库蓄水后的头两年情况尚好,仅有少量裂缝和局部隆起。但从 1978 年冬季开始,护坡的破坏越来越严重,护坡破坏主要表现是:混凝土预制板相互错位、翘起,其下的沥青渣油混凝土垫层产生了较大的纵向裂缝,且与混凝土板分离,坝坡土体被风浪淘刷,护坡架空,局部塌陷,上部无盖面的沥青渣油混凝土护坡形成鱼鳞状,众多的裂缝纵横交错,严重地段出现大面积的龟裂,尤其经过 1985 年春季大风浪的严重淘刷以后,护坡大面积塌坍,最大坑深 2.0m ,面积 20m^2 ,据实际调查,较大的塌坑就有 10 处之多,总面积达 130余 m^2 ,严重地危及水库的安全,靠采用“破冰槽”和塑料布引滑措施已难于维持。为此,于 1987 年进行了彻底翻修。新修护坡于 135.0m 以下采用水泥砂浆灌缝 80cm 厚的干砌块石护坡(包括反滤垫层 40cm),并增设宽 2m 的马道。马道及以上残存的沥青渣油混凝土护坡再加铺一层厚 15cm 的混凝