

平原地区水库坝基防渗设计

董立红

天津市水务规划勘测设计有限公司, 天津 300204

摘要： 本文以北方沿海地区某平原水库为例，探讨了平原地区水库坝基防渗设计问题。针对坝基存在的轻粉质壤土等渗透性较大的土层，分析了多种垂直防渗方案，并进行了技术经济比较。最终推荐采用 TRD 工法防渗墙方案，并确定了防渗深度和墙体厚度。渗流计算分析结果表明，该方案可有效减少渗漏量和出逸比降，满足水库防渗要求，为类似工程提供参考。

关键词： 平原水库；坝基防渗；TRD 工法防渗墙；防渗深度

Design Of Anti-Seepage For Reservoir Dam Foundation In Plain Areas

Dong Lihong

Tianjin Water Planning Survey and Design Co., Ltd., Tianjin 300204

Abstract： This article takes a plain reservoir in the northern coastal area as an example to explore the anti-seepage design problem of the dam foundation in the plain area. Multiple vertical anti-seepage schemes were analyzed for soil layers with high permeability, such as light silty loam, in the dam foundation, and a technical and economic comparison was conducted. The final recommendation is to use the TRD construction method for anti-seepage walls, and the anti-seepage depth and wall thickness have been determined. The analysis results of seepage calculation show that this scheme can effectively reduce the leakage amount and outflow ratio, meet the anti-seepage requirements of the reservoir, and provide reference for similar projects.

Keywords： plain reservoir; dam foundation anti-seepage; TRD construction method anti-seepage wall; depth of anti-seepage

引言

沿海平原的水库在支持城市生产、生活供水、生态水、农业灌溉用水供应方面扮演着关键角色，但同时也必须面对水库坝基渗漏所导致的水资源损耗问题。尤其是在坝基下方遇到渗透性较强的轻粉质壤土和砂壤土层时，水库的水量损失尤为严重，这不仅是对水资源的极大浪费，也造成水库外围地下水位抬高、托地，影响正常工、农业生产。鉴于此，深入研究平原地区水库坝基的防渗设计问题，不仅关乎水资源的有效利用和节约，更是对区域可持续发展的一项基础性工作，具有深远的社会和经济影响。

一、项目背景

随着我国沿海经济的快速增长，对淡水资源的需求持续增加。在平原地带，受限于地质状况，大型水利枢纽的建设遭遇重大挑战，水库因此成为供应水源的重要设施。尽管如此，平原地区复杂的地质结构和较高的坝基渗透性，导致水库易发生渗漏，这不仅降低了水库的蓄水能力，造成库外地下水位上升甚至产生托地，同时也对工程的安全性带来了风险。

针对这一问题，实施水库防渗措施对于提高平原地区水库的蓄水效率、减少水资源流失以及保障工程安全至关重要。通过这些措施，可以有效控制水库渗漏，提升其蓄水能力，并确保工程稳定性，为地区经济社会的持续发展提供了坚实的水资源支撑。

二、工程概况

我国沿海地区的平原水库众多，且地质条件复杂多变。在面

对坝基下具有较高渗透性的轻粉质壤土和砂壤土层时，为了降低水库的水资源渗漏损失，进行有效的防渗设计显得尤为重要。

以北方沿海地区的一座水库为例，本研究对比分析了多种防渗设计方案。这一过程不仅涉及技术的精细考量，更是对水库生态安全和区域水资源保护战略的长远规划。通过科学的设计和精心的施工，旨在实现水库的可持续利用，同时为类似地质条件下的水库防渗提供参考和借鉴。

三、地质勘察成果

根据地质勘察资料，水库围坝坝基均存在轻粉质壤土，从上至下依次为第四系全系统新近组古河道、洼淀冲积层（ $Q_4^{3N}al$ ）Ⅲ-③6轻粉质壤土，渗透系数 $3 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-3} cm/s$ ；第四系全新统中组浅海相沉积层（ Q_4^2m ）Ⅲ-⑥1及Ⅲ-⑥6均为轻粉质壤土，渗透系数 $8 \times 10^{-4} \sim 4.4 \times 10^{-3} cm/s$ ；第四系全新统下组河床~河漫滩相沉积层（ Q_4^1al ）轻粉质壤土，土体渗透系数

$5.0 \times 10^{-4} \sim 6.5 \times 10^{-3}$ ，均属中等透水性土层，为减少渗漏量，需采取防渗措施。

四、防渗方案比选

在坝基防渗技术中，根据防渗措施的实施方向，可以分为水平防渗和垂直防渗两大类。水平防渗虽然理论上可行，但其效果往往不甚理想。^[2]因此，在实际工程中，垂直防渗方法更为常用，且效果显著。

针对坝基透水层的垂直截渗技术，工程实践中常见的方法包括：粘土截渗槽、垂直铺塑技术、混凝土防渗墙、水泥搅拌桩、振动沉模防渗板墙、高喷防渗墙、液压铣削机搅拌防渗墙（CSM）、TRD工法防渗墙等。这些技术各有特点，但共同目标是在坝基中建立一道垂直的防渗屏障，以减少或阻止水流通过坝基的渗透，从而确保水库的蓄水效率和工程稳定性。

1. 粘土截渗槽

在轻粉质壤土及覆盖层中开挖明槽，切断该透水层，并回填粘土与坝体防渗体相连形成垂直防渗。该方法对透水层厚度不大的坝基截渗较适用，施工简单，土方工程量大。但是该方法适用于浅层透水层不厚的情况下，对本工程不适用。

2. 垂直铺塑

使用聚乙烯薄膜作为防渗材料，用专门开槽机成槽，铺入聚乙烯膜后回填坑槽，该方案造价低，但是在施工过程中容易被刺破从而影响防渗效果，且该方法适用于浅层透水层不厚的情况下，对本工程不适用。

3. 混凝土防渗墙

混凝土防渗墙利用机械在土层中开槽并充填具有防渗能力的材料从而形成一道连续的墙体。开槽机具和方法包括液压抓斗法、射水法、锯槽法等。

混凝土防渗墙利用机械在土层中开槽利用泥浆护壁充填混凝土或者塑性混凝土。混凝土截渗墙防渗效果好，特别适合坝基或坝身不满足防渗要求的情况，但造价较高。

4. 高喷防渗墙

高喷防渗墙是利用能量高度集中的射流冲切掺搅地层，并将随之带入的浆液与土层中颗粒混合凝结、形成防渗固结体的方法，根据喷射方式不同，可分为旋喷、定喷、摆喷，根据工程经验，从防渗性能分析，定喷最强，旋喷最差，摆喷介于二者之间。

5. 水泥搅拌桩

水泥土搅拌桩防渗技术采用三轴搅拌桩机把水泥浆喷入土体并搅拌，形成连续的水泥土墙，该法主要用于处理地基，施工简单，但是传统三轴、单轴搅拌桩施工质量不好控制。

6. 液压铣削机搅拌防渗墙（CSM）

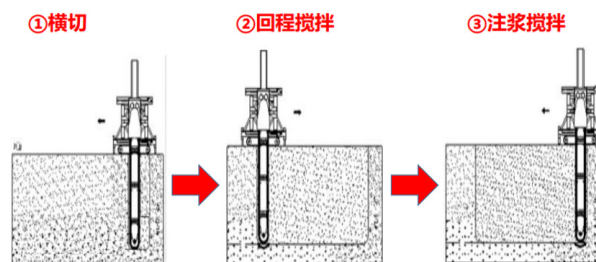
通过钻杆下端的一对液压铣轮，对原地层进行铣、销、搅拌，同时掺入水泥浆固化液，与被打碎的原地基土充分搅拌混合后，形成具有一定强度和具有良好止水性能的水泥土连续墙。



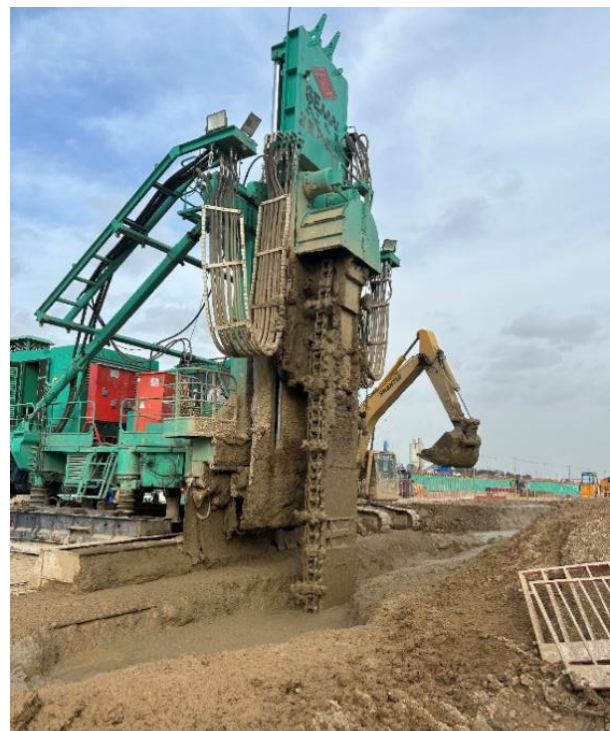
> 图1 液压铣削机搅拌防渗墙施工机具

7. TRD工法防渗墙

TRD工法防渗墙是以链锯式刀具为主要机具，利用可连接、拆卸的链锯式工具箱竖直接入到预定土层，然后沿水平方向切割、搅拌出沟渠并注入水泥固化液，水泥与原状土进行搅拌，构筑成一道等厚的连续的地下防渗墙。



> 图2 TRD工法防渗墙施工工艺流程



> 图3 TRD工法防渗墙施工机具

五、方案选择

对几种主要的防渗墙型式进行技术经济比较见下表。

表1 防渗方案比较表

处理方法	方案	延米单价 (元 /m ²)	防渗投资 (亿元)	优点	缺点
塑性混凝土防渗墙	C30混凝土防渗墙厚400mm，深30m（抓斗开槽）	790	5.43	防渗效果好，施工条件要求较宽、安全可靠	需要专用的设备营造槽孔、并在孔内注满泥浆，以防孔壁坍塌，成本较高，适应地基变形能力差
水泥搅拌桩（三轴）防渗墙	25%水泥土搅拌桩直径650mm，咬合400mm，深30m	220	1.55	施工简单，单价较低	防渗墙深度过大时施工质量不好控制，接头处容易出现分岔
高喷防渗墙	高压摆喷厚300mm、中心距2.0m	357	2.52	可灌性好、可控性好、机动灵活、适应地层广深度较大及施工场地要求不高。	单价较高，防渗墙深度过大时施工质量不好控制，接头处容易出现分岔
液压铣削机搅拌防渗墙（CSM）	墙厚700mm，25%水泥掺量	700	4.73	有高掘性能，地层适应性强；成墙防渗效果好；适合墙深较大的情况	造价比较高，按目前施工工艺，防渗墙深度30m最小成墙厚度需0.7m，在华北地区应用实例比较少
TRD工法防渗墙	墙厚600mm，25%水泥掺量	550	3.24	地层适应性强，施工质量有保障，施工后墙体等厚，连续性好且无缝隙，墙体强度高，抗渗性能高	施工设备占地面积大，对场地要求高

在综合评估水库特定的地质条件、防渗效果以及投资成本之后，TRD工法防渗墙以其连续性、卓越的防渗性能和可靠的施工质量，成为一种性价比比较高的坝基防渗解决方案。因此，建议选择TRD工法防渗墙作为水库坝基防渗处理的实施策略。^[3]这一选择不仅体现了对技术先进性和经济合理性的平衡，也彰显了对工

程长期稳定性和环境保护的重视。

六、防渗深度的确定

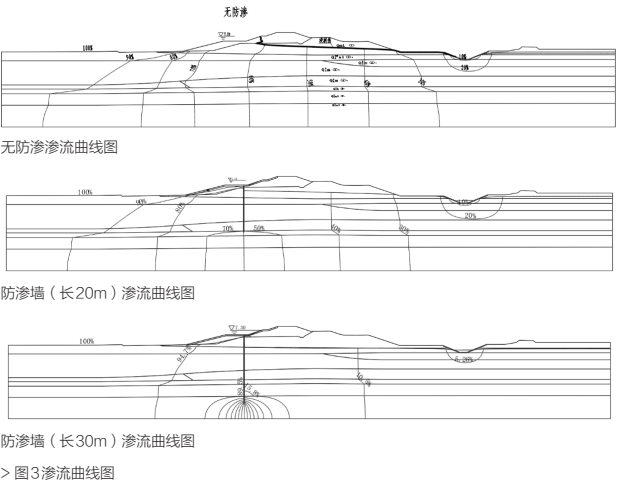
选取典型断面，对不同防渗深度渗流计算成果如下表。

方案	防渗型式	单宽渗流量（m ³ /s.m）	年总渗漏量（万 m ³ ）	渗漏量减少率	防渗体水头降落值（m）	出逸比降
方案一	无防渗	2.53E-05	886.63			1.04
方案二	垂直防渗深20m	2.16E-05	734.08	15.67%	1.89	0.89
方案三	垂直防渗深30m	5.77E-06	195.93	77.49%	4.98	0.24

表2 不同防渗型式渗漏量成果表

由上表看出，而增加垂直防渗后，渗漏量减少量比较明显，当防渗墙截断下部透水层（Q₄1al）轻粉质壤土时渗漏量及出逸比降均比仅穿透上部透水层（Q₄³NaI）Ⅲ-③₆及（Q₄²m）Ⅲ-⑥₁轻粉质壤土要降低很多，且坝脚及截渗沟处出逸比降均小于允许值（渗透比降允许值为0.3），背水坡浸润线降低的也比较明显，在截渗沟之前不会产生托地的问题。

因此对坝基防渗推荐垂直防渗型式，防渗底部进入相对不透水层（Q₄¹al轻粉质壤土）不小于2.0m。



七、防渗墙厚度确定

防渗墙设计厚度计算公式为：

$$T = \frac{H}{J}$$

式中，H为防渗墙作用最大水头，取8.35m；
J为防渗墙允许渗透比降，参考SL/T792-2020《水工建筑物地基处理设计规范》6.5.3条，水泥土搅拌防渗墙允许渗透比降取50；
T—为防渗墙设计厚度。

防渗墙的计算厚度为167mm，但防渗墙厚度还受到施工工艺的限制。TRD工法防渗墙目前国内工程应用中，墙体厚度多为550 ~ 800mm，且墙体厚度应与墙体深度相匹配，深度在30m ~ 50m宜选用600mm及以上墙体；设计选用墙体厚度为0.6m，可满足防渗要求。

八、结论

本研究选取了北方沿海地区的一座水库作为研究对象，针对其坝基下轻粉质壤土透水层的特性，对一系列防渗设计方案进

行了全面的分析与探讨，并从技术和经济的双重视角进行了深入的对比评估。主要的研究成果和结论概述如下：

在综合考量防渗效能、施工品质、经济成本等多个关键维度后，该工程采纳 TRD 工法防渗墙作为该水库坝基防渗的首选措施。^[4]TRD 工法以其对多种地层的良好适应性、施工过程的质量可控性、卓越的防渗性能以及合理的经济投入，与该工程的具体需求和环境条件高度匹配，展现了其在确保水库防渗安全。

通过计算与分析，垂直防渗技术能够显著减少渗漏，其效果随着深度的增加而逐步提升。为了达到最优的防渗效果，防渗墙的下端应至少延伸至相对不透水的 Q_4^{1al} 轻粉质壤土层 2.0m 或更深处。

在综合计算分析结果和现有施工技术条件的限制下，限于当

前施工机械水平，该工程采用了 0.6m 的防渗墙厚度，该设计参数能够满足预期的防渗性能要求。

结束语

随着我国沿海地区水库建设步伐的加快，平原地带水库的防渗设计问题日渐凸显。本研究选取北方沿海地区的某水库作为研究对象，对多种防渗设计方案进行了探讨，并对 TRD 工法防渗墙进行了重点分析。TRD 工法防渗墙在防渗效果、施工质量和成本效益方面均表现出显著优势。但是 TRD 工法防渗墙的施工设备需要较大的作业面积，对施工场地有一定的要求。

参考文献

- [1] 薛霞. 平原水库盘防渗复合土工膜的鼓胀变形及破坏研究 [D]. 济南大学, 2023.DOI:10.27166/d.cnki.gsdcc.2023.000031.
- [2] 廖志彬, 袁俊平, 曹雪山, 等. 平原水库的土工膜防渗结构方案及其影响因素研究——以西夏水库为例 [J]. 河南科学, 2022, 40(11): 1768–1775.
- [3] 王筱. 平原水库影响区水循环特征识别及对变化环境的响应研究 [D]. 长安大学, 2022.DOI:10.26976/d.cnki.gchau.2022.002200.
- [4] 刘少丽, 穆林, 张扬. 平原水库防渗技术研究 [C] // 中国水利学会, 黄河水利委员会. 中国水利学会 2020 学术年会论文集第四分册. 黄河勘测规划设计研究院有限公司; 2020: 4.DOI:10.26914/c.cnkihy.2020.069507.