

侍克斌 毛海涛 著

无限深透水地基上 土石坝渗流控制

WUXIAN SHENTOU SHUI DIJI SHANG
TUSHI BA SHENLIU KONGZHI



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

无限深透水地基上 土石坝渗流控制

侍克斌 毛海涛 著

内 容 提 要

本书利用保角变换、边界元、有限元、无限元理论和物理模型试验等方法,研究了无限深透水地基上土石坝的渗流控制问题,通过建立相应的数学、物理模型和计算分析,找出了无限深透水坝基渗流控制的一般规律,得到了适合无限深透水坝基渗流控制措施(水平铺盖或防渗墙)的具体型式;此外,根据已建在无限深透水地基上土石坝运行中出现的渗流问题,提出一些相应的解决方法。

本书可供水利工程及相关专业领域的设计、施工、管理、科研和教学人员使用与参考。

图书在版编目(CIP)数据

无限深透水地基上土石坝渗流控制 / 侍克斌, 毛海涛著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-5170-2934-2

I. ①无… II. ①侍… ②毛… III. ①土石坝—透水地基—渗流控制 IV. ①TV698.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第025765号

书 名	无限深透水地基上土石坝渗流控制
作 者	侍克斌 毛海涛 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 14.5印张 276千字
版 次	2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	45.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

土石坝的渗流控制一直是国内外坝工界高度重视的研究方向之一。

从目前的研究情况来看，在透水地基渗流控制方面的研究多限于有限深的尺度，即对建在有限深透水地基上土石坝的渗流控制原理及防控措施研究已日趋完善，无论是对水平铺盖防渗还是各种垂直防渗措施，在理论上都有比较成熟的设计和计算方法。但是，对建在无限深透水地基或较深厚覆盖层地基上土石坝的渗流控制研究还并不系统，仍属于一个新的研究课题。

本书旨在利用保角变换、边界元、有限元、无限元理论和物理模型试验等方法，研究无限深透水地基上土石坝的渗流控制问题，通过建立相应的数学、物理模型和计算分析，找出无限深透水坝基渗流控制的一般规律，得到适合无限深透水坝基渗流控制措施（水平铺盖或防渗墙）的具体型式；此外，根据已建在无限深透水地基上土石坝运行中出现的渗流问题，提出一些相应的解决方法。总之，希望通过本书的研究，能为以后此类地基上建坝的渗流计算和渗流控制措施提供有效的理论依据，并能为已建的此类大坝存在的问题给予合理的解释和提出科学的建议。

本书研究了以下内容：①采用保角变换和流体力学理论对无限深坝基的渗流问题建立起相应的数学模型，并推导出渗流计算公式；②为了使计算理论能够相互验证并能拓宽无限深透水坝基渗流计算方法的范围，采用有限元和边界元两种数值方法分别建立起相应的数值模型并进行计算，在计算方法相互验证的基础上，对无限深透水地基上的工程实例进行了计算；③在上述理论分析和数值模拟的基础上，通过砂槽模型试验对所研究的结果进行了验证；④在理论分析、数值模拟和模型试验相互验证的前提下，找出了无限深透水

坝基采用水平铺盖和垂直防渗墙控渗时坝基渗流的规律，并对两种防渗体的控渗效果进行对比研究，找到了较优的防渗体型式；⑤针对目前已建在无限深透水地基上土石坝下游的土壤次生盐渍化等库边生态问题进行分析研究，提出了相应的解决办法；⑥通过理论计算和物理模型试验对比分析，进一步研究了在非均质无限深透水地基上的土石坝采用微透水水平铺盖和垂直防渗墙时的渗流控制规律。

本书的研究工作得到新疆维吾尔自治区科技支撑计划项目“内陆干旱区平原水库节水与周边生态环境改善关键技术研究”（201233132）、国家自然科学基金“内陆干旱区平原水库防渗节水与周边次生盐渍化影响研究”（50969010）、国家自然科学基金青年基金“无限深透水地基上土石坝及坝基渗流非线性问题建模理论研究”（51309262）、新疆维吾尔自治区教育厅重点科研计划项目基金（XJEDU2005109）、重庆市博士后科研项目特别及日常资助基金（Rc201417；Xm2014088）等的资助。

感谢恰拉水库管理处、多浪水库管理处、胜利水库管理处、乌苏市水库管理处和新疆生产建设兵团水电勘测设计院等提供的研究实践平台和大力支持！本书的撰写参阅并调研了这些水库的大量设计、施工、观测和运行资料，并参考了许多前人的研究文献。感谢白俊文、袁莹、陈亮亮、李建华、尹海华、常卓强、徐毅和哈丽木热木同学，他们参与了部分研究和整理了一些资料。

由于作者水平有限，书中难免存在不适和错误之处，敬请读者批评指正。

作者

2014年9月2日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 渗流破坏及控制的研究现状	3
1.3 无限深透水坝基概念的理解	6
1.4 研究现状评述	12
1.5 本书研究的目的和内容	13
第 2 章 无限深透水地基上土石坝坝基渗流计算的保角变换法	15
2.1 保角变换理论发展概况	15
2.2 保角变换理论简介	16
2.3 坝基垂直防渗体渗流计算模型的建立	19
2.4 渗流计算公式的推导	23
2.5 无限深透水地基上不透水铺盖斜墙土石坝的渗流计算	27
第 3 章 无限深透水地基上土石坝坝基渗透坡降的计算与分析	35
3.1 无限深透水坝基渗透坡降计算 (莱茵法)	35
3.2 对莱茵法的改进	37
3.3 无限深透水坝基及坝坡出逸坡降的计算	38
3.4 无限深透水坝基后滤层铺设范围的确定	43
第 4 章 无限深透水地基上土石坝渗流计算的有限元法	49
4.1 有限元法概述	49
4.2 有限单元法渗流计算的原理	50
4.3 无限深透水地基上土石坝坝体及坝基渗流计算模型的建立	56
4.4 算例分析	61
4.5 基于有限元的渗流场与应力场耦合计算	64
第 5 章 无限深透水地基上土石坝坝基渗流计算的边界元法	76
5.1 边界元理论概述	76
5.2 无限深透水地基采用垂直防渗时边界元法模型的建立	80

5.3	坝基水平铺盖防渗时边界元模型的建立	84
第6章	土工膜水平铺盖防渗体对无限深透水坝基渗流控制的影响	91
6.1	概述	91
6.2	土工膜水平铺盖有效长度的确定	93
6.3	土工膜水平铺盖生态长度的确定	98
第7章	悬挂式垂直防渗体对无限深坝基渗流控制的影响研究	106
7.1	垂直防渗墙综述	106
7.2	对悬挂式防渗墙防渗效果的讨论	108
7.3	悬挂式防渗墙位置变化对无限深透水坝基渗流的影响	110
7.4	悬挂式防渗墙深度变化对无限深坝基渗流的影响	112
7.5	基于无限元悬挂式防渗墙控渗规律研究	116
第8章	无限深透水地基上土石坝坝基渗流问题的试验研究	125
8.1	渗流模拟试验研究成果概述	125
8.2	无限深坝基砂槽模型试验的设计	126
8.3	坝基采用水平铺盖防渗体时模型试验研究	130
8.4	坝基采用悬挂式防渗墙防渗体时模型试验研究	134
8.5	砂槽渗流试验模型的理论计算	141
8.6	理论与试验数据对比	144
8.7	水平和垂直防渗体防渗效果比较	145
第9章	非均质无限深透水地基上土石坝水平铺盖防渗体的渗流计算 与试验研究	147
9.1	非均质无限深透水地基上土石坝水平铺盖防渗体渗流计算	147
9.2	非均质无限深透水地基砂槽模型试验研究	152
第10章	非均质无限深透水地基上土石坝垂直防渗体的渗流计算 与试验研究	158
10.1	非均质无限深透水地基上带有垂直防渗墙的土石坝的 有限元渗流计算	158
10.2	非均质无限深透水地基上带有垂直防渗墙的土石坝 模型试验研究	166
第11章	非均质无限深地基上带有微透水水平铺盖的土石坝渗流研究	170
11.1	概述	170
11.2	非均质无限深地基上带有微透水水平铺盖的土石坝 有限元渗流计算及分析	170

11.3 非均质无限深地基上带有微透水水平铺盖的土石坝渗流模型 试验研究	176
第 12 章 非均质无限深透水地基上土石坝微透水防渗墙渗流控制研究	185
12.1 非均质无限深透水地基上土石坝微透水防渗墙的有限元渗流计算	185
12.2 非均质无限深透水地基上土石坝微透水防渗墙模型试验研究	191
第 13 章 无限深透水地基上平原水库对坝后盐渍化影响研究	196
13.1 水库对坝后土壤盐渍化的影响分析	196
13.2 平原水库控渗机理	198
13.3 平原水库防渗和排渗联合的水力计算	203
13.4 工程算例	205
13.5 结论	206
附录 坝基采用垂直防渗体时渗流计算程序	207
参考文献	211

第1章 绪 论

1.1 引言

1.1.1 土石坝数量统计

新中国成立以来,我国共修建各类水库近十万座,在所建坝型中土石坝占的比重最大。这些工程在防洪、灌溉、发电、航运、城镇供水和水产养殖等方面都产生了巨大的经济效益和社会效益。据 20 世纪 80 年代的国际大坝委员会的统计,截至 1986 年底,全世界共建 15m 以上的大坝 36235 座,其中土石坝 29974 座,占 82.7%;而在土石坝中,中国有 17473 座,占半数以上,达 58.3% (表 1.1)。此外,在 250m 以上的 9 座高坝中,土石坝 5 座,占总数的 55.6%; 230m 以上的高坝 15 座,其中土石坝 9 座,占总数的 60%。

表 1.1 已建坝型的分类及各国土石坝的数量

世界大坝按坝型分类统计		
坝型	已建坝数量/座	占建坝总量的百分数/%
土石坝	29974	82.7
重力坝	4180	11.5
拱坝	1592	4.4
支墩坝	489	1.4
总计	36235	100
世界土石坝按国家或地区分类统计		
国家或地区	已建坝数量/座	占建坝总量的百分数/%
中国	17473	58.3
美国	4694	15.7
欧洲 (含俄罗斯)	1918	6.4
日本	1484	5.0
印度	998	3.3
南美	629	2.1
其他	2778	9.2



世界上土石坝得到迅速发展的主要原因如下：

(1) 地基适用条件强。土石坝能广泛适用于各种不同地质情况的地基，可以说，几乎所有的不良坝址地基（不透水地基、透水地基、深厚透水地基甚至是软基等）只要经过合理的处理后均可填筑土石坝。

(2) 可就地取材。土石坝又叫当地材料坝，最突出的特点就是可以就地取材。随着设计、施工技术的不断发展，放宽了对筑坝材料的要求，几乎所有的土石料都可以分区上坝，充分发挥就地取材的优势，为大方量开挖创造了条件。

(3) 经济效益好。这一优点是基于上述“可就地取材”的特点，由于可以就地取材，节省了大量的钢筋、木材和水泥，从而减少了运输成本，大幅度地缩短工期和降低造价。经过分析论证，土石坝工程的综合经济指标比其他各类坝型要低，工程造价最经济。

1.1.2 土石坝事故原因统计分析

土石坝的功能是壅高水位，拦蓄河水，有计划地利用河水。在河水壅高后，上下游的水头差会引起水库蓄水渗过坝体、坝基及两岸坡，流向下游。土石坝的渗流问题与水库的经济效益和大坝安全运行密切相关。根据国内土石坝事故统计资料显示（表 1.2），在 241 座大型水库的 1000 次事故中，由于渗透变形造成的约占总事故的 31.7%；在 2391 座水库溃坝事故中，由于渗透变形而造成的事故约占 30%。

表 1.2 我国土石坝事故破坏比例

破坏类型	所占比例/%
裂缝	25.3
渗漏、管涌	31.7
滑坡、踏坑、护坡破坏	17.4
冲刷、气蚀	14.2
闸门失灵	4.8
其他	6.6

此外，国外此类统计数据显示（表 1.3），美国的 206 座土石坝失事中，由于渗透变形而造成的事故占总数的 39%；日本土石坝失事调查分析中，由于渗透变形而造成的事故占总数的 40%；瑞典对其 119 座土石坝失事分析中，由于渗透变形而造成的事故占总数的 39%；西班牙对其 117 座土石坝事故分析中，由于渗透变形而造成的事故占总数的 39%。

从国内外统计数据来看，由于渗透变形而造成的事故或溃坝，约占事故总



数的 30%~40%，所以近二三十年中各国都特别重视土石坝的渗流破坏问题。

表 1.3 国外垮坝原因调查分析表

资 料 来 源	失事类型/%			
	漫坝顶	渗漏 管涌	滑坡 裂缝	其他（压实质量差、管理不当、 溢洪道冲刷、滤料流失等）
Vogel 调查分析 309 大坝失事原因 (1982, 维也纳大坝失事数)	36	34	12	18
Middlebrooks 调查美国 (1953) 206 座土坝失事原因分析	27	39	18	17
美国大坝委员会对大坝失事调查分 析 (1975)	38	44	9	9
Takase 对日本土坝失事调查分析 (1967)	28	44	10	18
Gruner 对瑞士大坝调查分析 (1963)	23	40	2	35
Hinderlider 对 159 座大坝失事原因 分析	33	26	4	37
Reinus 对 119 座土坝失事原因分析 (1948)	30	40	10	20
Babb and Mermel 对大坝失事原因分 析 (美国肯务局, 1968)	36	30	15	19
Sherard 对美国 214 座土石坝破坏原 因分析 (1963)	28	41	11	20

1.2 渗流破坏及控制的研究现状

1.2.1 土石坝坝基渗透破坏的原因及主要形式

概括来看，渗透破坏的原因主要可分为以下两类：

- (1) 因渗流量太大，引起对坝基冲刷造成的破坏。
- (2) 因孔隙水压力太高，引起坝基承载力降低乃至崩塌造成的破坏。

坝基的渗透破坏形式及其发生发展过程，与地质条件、土粒级配、水力条件、防渗排渗措施等因素有关，通常有管涌、流土、接触冲刷和接触流土 4 种类型（图 1.1）。

(1) 管涌：在渗透水流作用下，土中的细颗粒在粗颗粒间形成的孔隙中移动，以至流失；随着土的孔隙不断扩大，渗透流速不断增加，较粗的颗粒也相

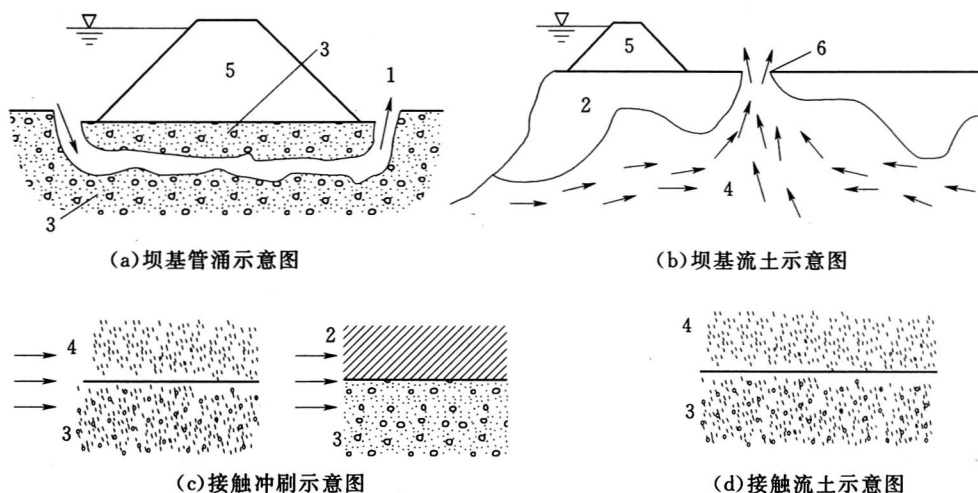


图 1.1 坝基渗透变形类型图

1—渗流；2—黏性土；3—砂砾；4—砂土；5—土石坝；6—冲溃口

继被水流逐渐带走，最终导致土体内形成贯通的渗流管道，造成土体塌陷，这种现象称为管涌。管涌主要发生在内部结构不稳定的砂砾石层中。

(2) 流土：在向上的渗透水流作用下，表层土局部范围内的土体或颗粒群同时发生悬浮、移动的现象称为流土。任何类型的土，只要达到一定的水力坡降，都会发生流土破坏。流土主要发生在渗流出口无任何保护的部位。

(3) 接触冲刷：渗流沿着两种不同的介质接触面流动时，把其中颗粒层的细粒带走。这里所指的接触面，其方向是任意的。

(4) 接触流土：渗流垂直于两种不同介质的接触面流动时，把其中一层的细粒移入到另一层中去，例如反滤层的淤塞就是这种变形。

但就单一土层来说，渗透变形主要是流土和管涌两种基本形式。

1.2.2 渗流控制的措施

渗流控制的基本方法是防渗和排渗，并在渗流出口等部位设滤层保护。

防渗有垂直和水平两种基本形式。对于土石坝来说，垂直防渗有心墙、斜墙、截水槽、灌浆帷幕等防渗体；水平防渗主要是上游水平铺盖。防渗体由透水性很小的材料组成，例如黏土、混凝土、沥青混凝土和土工膜等。

排渗也可分为垂直与水平两种形式。垂直排渗有坝体内稍倾斜的直立式排水、贴坡排水以及深入地基的减压沟和减压井排水；水平排渗主要有坝体内的褥垫排水、水平滤管式排水和下游坝趾的堆石棱体排水。排水体由强透水的材料组成，主要有砂、石子、卵（块）石、砂砾石混合料、土工织物等。

防渗设施的位置一般要靠近坝体上游或中部以消杀大部分渗流能量，再让



渗水从下游排渗出口流出。基于这种要求,通常把土石坝材料分区堆筑,使前部透水弱,后部透水强,即“上防下排”,这种布置的本身也是一种好的渗流控制方法。

1.2.3 土石坝渗流控制计算的主要任务

土石坝渗流控制计算的主要任务可归纳为以下5点:

(1) 计算通过土石坝和坝基的渗流量,以确定大坝上游水库的渗漏损失水量,分析该损失对水库蓄水的影响,以及是否需要采取更严格的防渗措施来减少渗漏损失。

(2) 计算土石坝坝体内的浸润线,以便分析土石坝坝坡的稳定性。

(3) 计算土石坝及其地基内各点处的水头和压力,并确定其分布和变化,用以预测产生渗透变形的可能性。

(4) 计算作用在土石坝底部的扬压力,以便分析大坝的稳定性及应采取的防渗、排渗措施。

(5) 计算土石坝及其地基内各点处的渗透流速和水力坡降,特别是渗流处逸处的渗透流速和水力坡降,以便分析其渗透稳定性,并为采取防渗、排渗措施提供设计依据。

1.2.4 渗流控制的分析计算方法

渗流理论发展至今,已经形成了很多种分析计算方法,但归纳起来可分为两大类,分别是理论分析方法和试验分析方法。

1.2.4.1 理论分析方法

理论分析法可以分为解析法、数值法和图解法3类。

(1) 解析法。所谓解析法,是指利用有关数学手段直接求解基本微分方程的方法。通过解析,可以得出关于水头函数在所研究区域内分布的表达式,它既要满足基本方程,又必须满足给定的边界条件。一般来说,解析解是比较精确的,但实用性较差,因为大部分的解析解都是针对各向同性均质渗流介质和简单边界条件而求得的。解析法又可分为直接解法、复变函数法、组合法和水力学法。直接解法是采用直接解渗流基本微分方程的方法来计算渗流要素的一种方法;复变函数法是利用复变函数保角变换理论,将实际的渗流问题变换为一个有解的区域,从而使问题得以解答;组合法是将复杂的渗流区域划分为几个简单的渗流区段来进行计算的一种方法;水力学法是利用达西定律和杜平假定,建立坝体各段的运动方程,根据水流连续性求解流速、流量和浸润线等。

(2) 数值法。数值法目前主要有有限单元法、边界元法和差分法。这些方法都是将偏微分方程的边值问题化为代数方程问题,然后用计算机求出基本未



知量的值。有限元法的基本思想是用一个较简单的问题代替复杂的问题后再求解。随着各种商业软件（如 ANSYS）的发展，有限元法已经是目前工程应用最为广泛的数值方法；边界元法是继有限元法之后又一种有效的数值计算方法，它的特点是降低问题的维数，只以边界的未知量作为基本未知量，通过把求解域的边界剖分为若干个单元，化边界积分方程为线性代数方程组来求解，域内未知量可以通过边界未知量来求出。差分法是从微分方程出发，将研究区域经过离散处理后，近似地用差分 and 差商来代替微分和微商，即将渗流基本方程转变为差分方程，并采用逐步逼近的计算方法来求得渗流场中各点的水头。

(3) 图解法。图解法是通过绘制渗流区流线和等势线的网状图形，并以此来计算渗流要素的一种方法。

1.2.4.2 试验分析方法

目前常采用的试验分析方法有砂槽（土槽）模型法、黏滞流模型法（也称缝隙水槽法）、水力网模型法、水力积分仪法、电拟试验法和电阻网模型法等。下面简要介绍砂槽试验法、缝隙水槽模型试验法和电拟试验法。

(1) 砂槽试验法。砂槽试验是用砂或砂性土做模型，放置在木质或钢制的槽内，当模型的上下游保持与建筑物上下游相应的水位时，由于上下游水头差的作用，模型内即产生渗流。此时可以通过量测工具实测出渗流参数（如水头、流量等）。

(2) 缝隙水槽模型试验法。缝隙水槽模型试验是用两块玻璃板或有机玻璃板做成模型，相互平行地安装在试验槽内，并使两块板之间保持一定的缝隙宽度。缝隙水槽试验观测的方法，一般是在玻璃板上顶先画上方格，然后在上游液体的不同高程处添入颜色，以便使模型中流线能明显地显示出来，便于观测。

(3) 电拟试验法。电拟试验法是基于电场和渗流场符合同一种形式的控制方程而进行求解的。电拟模型对渗流场来说是个数学模型，而不是物理模型。电拟试验法目前有两种模型，即导电液和电网络模型。由于导电液模型为连续介质模型，故便于模拟急变渗流区问题，但它无法模拟非均质各向异性渗透介质，也不能适应复杂的地质和边界条件。为了模拟更加复杂的渗流场，逐步发展了电网络模型，即电网络法。该方法既可基于差分原理建立，也可基于变分原理建立。电网络法还吸收了有限元法的优点，该方法在模拟曲线边界和各向异性渗透性方面得到一定的改进。

1.3 无限深透水坝基概念的理解

SL 274—2001《碾压土石坝设计规范》中对无限深透水地基的定义是：



“当透水坝基深度大于建筑物不透水底部长度的 1.5 倍以上时, 可视为无限深透水坝基。”由此可见, 所谓“无限深透水”并非坝基真的深不可测且全是透水层, 它只是一个相对概念, 是相对“有限深”和“不透水”而言的。要真正理解无限深透水地基的内涵, 还需要从地质的角度出发, 了解透水覆盖层的形成过程, 并根据地质状况的不同, 将无限深透水地基进行分类, 以使研究具有针对性。

1.3.1 覆盖层的形成过程

自然界松散的沉积层组成了地球最表面的覆盖层, 这些覆盖层是原生岩石经过机械风化和化学风化作用产生的黏结程度不同的集合体, 遭到风化的岩石在热胀冷缩的物理作用下, 并在重力的影响下, 会向坡下滑动, 并在局部地方堆积起来成为崩积物。许多松散堆积的崩积物被水流、风、冰川及冰川融化了的河水从不同距离的源地搬运到停积场所而沉积, 而且只有少数搬运来的沉积物是颗粒均匀的, 大多数是质地不均匀的沉积层。

松散沉积物经过沉积和埋藏逐渐压密, 或被黏结起来。有些地方沉淀在颗粒孔隙间的胶结物, 把松散沉积物胶结成坚硬的似岩石状物体, 有些地方不含黏性胶结物, 颗粒孔隙却较大, 相互松散分离。

松散物质的特性分类, 随分类的目的而异。地质上把松散沉积物按不同的粒径范围进行命名, 见表 1.4。在水利工程中分类的重点放在注意松散物质的特性方面。这些特性关系到土体作为地基或开挖坡度的性能, 以及作为建筑材料的性能等。

表 1.4 松散沉积物的颗粒分级 (地质分类)

名称	粒径/mm	名称	粒径/mm
漂砾卵石	>60	细砂	$0.2\sim0.06$
粗砾	$60\sim20$	粗粉粒	$0.06\sim0.02$
中砾	$20\sim6$	中粉粒	$0.02\sim0.006$
细砾	$6\sim2$	细粉粒	$0.006\sim0.002$
粗砂	$2\sim0.6$	黏粒	<0.002
中砂	$0.6\sim0.2$		

自然界的松散沉积物在其颗粒大小及其矿物学性质方面的变化是不同的。在工程实践中, 松散沉积物常被称为“土”。在水利工程中, 不论对于坝体填筑还是对于大坝地基, 这些土在垂直和水平方向上的非均质性、渗透性等对坝体和坝基的渗流控制都有着重要的作用。

目前所修建的各种水工建筑物都是在地球表面的覆盖层上, 只不过有的覆



盖层较浅，可开挖到岩基；有的覆盖层土质条件良好，可直接在上面修建水工建筑物；有的覆盖层存在较浅透水层或承载力差，但只要通过简单的工程措施就可以满足设计要求等；而无限深透水地基比上述几种情况都要差些。

1.3.2 无限深透水地基的讨论

随着社会经济的迅猛发展，世界上很多地区都修建了大量的水利设施来满足生产和生活要求，因而许多良好的坝址已被利用。有些坝址，常因坝基地质条件缺陷，或库区地质条件不好，需要在工程设计及施工中，使用科学的方法和工程措施对其进行精心的研究分析和有效处理，以保证大坝的可靠蓄水和分流，一旦水库失事时，使人民的生产和生活所受的损失最小。

“无限深透水地基”就属于坝基地质条件存在缺陷的情况之一。有学者曾提出：“无限深透水地基按理论计算渗透流量将很大，所以不宜在其上建坝。”可是实际中，建在无限深透水地基上的大坝却早已存在，而且通过合理的渗控措施，这些水库运行良好，说明在无限深透水地基上建坝其渗流是可防可控的。

那么何为“无限深透水地基”？

首先从“透水”角度出发，严格地说世界上所有的土都是透水的，所谓“不透水”只是说其渗透系数很小，其透水性可以忽略不计而已。各种松散沉积物的相对透水性见表 1.5。

表 1.5 各种沉积物按透水性分类

(1) 低渗透性	
A.	冲积黏土、淤泥和粉砂堆积物
B.	已蚀变的火山灰
C.	具有致密黏土质的冲积砂土和砾石层
D.	具有致密黏土或岩粉基质的冰碛物
E.	泥石流堆积物
F.	滑坡堆积物，常由致密黏土夹有少量岩石碎块组成
(2) 中等透水性（足以引起潜在的渗漏）	
A.	冲积砂或砾石，其分选不良并含有少量黏土的物质
B.	很细的砂土
C.	未经蚀变的火山灰
D.	含有一定量的黏土或粉岩的冰碛物
E.	由岩屑或黏土基质组成的滑坡物，可能存在一些孔隙，但并不相互连通
F.	黄土



续表

(3) 强透水性

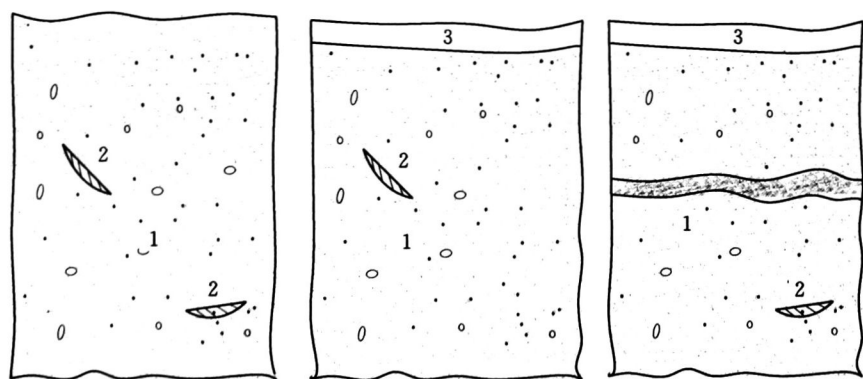
- A. 冲洗或分选良好的冲积砂层或砾层
- B. 中粒及粗粒的角砾状火山碎屑沉积物
- C. 夹有冲积层透镜体或不规则的冰碛层
- D. 埋藏地下的古沙丘
- E. 含较多岩石碎块的滑坡堆积物，并不相互联通的孔隙

按照透水性强弱可将坝基分为不透水坝基、有限深透水坝基、无限深透水坝基 3 类。其中有限深坝基又分为较浅覆盖层透水坝基和深厚覆盖层透水坝基两种情况。

通常说的不透水坝基，表明其坝基地质情况良好，大都属于低渗透性的岩土；有限深透水地基即表明坝基上存在一层（或浅或深）渗透系数较大（中等透水或强透水）的覆盖层，但覆盖层下面又属于低渗透性的岩土（不透水层或弱透水层）。以此类推，无限深透水地基表明透水层对工程渗流的影响比“深厚覆盖层透水地基”还要大，也就是说，用于“不透水层地基”或“有限深透水地基”的渗流理论或工程措施其中一部分已经不能适用无限深的情况，需要重新研究。

世界上大多数坝体是建在前两种坝基上，而且其渗流计算的理论和渗控技术的发展都已经基本成熟，但对于无限深透水坝基的渗流计算和渗流控制措施都还没有形成体系。

从地质结构的角度出发，无限深透水地基一般分为 3 类（图 1.2）：



(a) 单层透水坝基剖面图 (b) 二元结构透水坝基剖面图 (c) 多元结构透水坝基剖面图

图 1.2 无限深透水地基地质剖面图

1—强透水层；2—淤泥质夹层；3—弱透水层