



白永年 关德斌 王洪恩 刘宪奎 编著

土坝坝体劈裂灌浆技术



SHUILI KEJI CHENGGUO CONGSHU

——《水利科技成果》丛书——

土坝坝体劈裂灌浆技术

——白永年 关德斌 王洪恩 刘宪奎 编著——

水利电力出版社

369248

内 容 提 要

利用劈裂灌浆技术治理土坝、堤防隐患是水利水电施工和管理的一项新成果，具有很广阔的发展前景。本书主要介绍了劈裂灌浆技术的理论、应用和实践。

书中内容包括：土坝劈裂灌浆加固机理、土坝勘察与灌浆试验、灌浆设计、灌浆机械、浆液材料、施工技术、灌浆中常出现的问题及处理方法、效果检查与验收等。

本书主要供具有高中以上文化程度的水利水电工程技术人员和技术工人阅读，也可供岩土工程和堤防工程等有关科技人员参考。

《水利科技成果》丛书

土坝坝体劈裂灌浆技术

白永年 关德斌 王洪恩 刘宪奎 编著

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4.5印张 95千字

1987年3月第一版 1987年3月北京第一次印刷

印数0001—2820册 定价0.95元

书号 15143·6238

序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利，开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书，包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求做到以思想性和科学性为前提，同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足，书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会

一九八四年七月

水利科普丛书编审委员会名单

主任委员：史梦熊

副主任委员：董其林

委	员：	丁联臻	王万治	史梦熊	田 园
		李文治	郝凤山	杨启声	张宏全
		张林祥	沈增卿	陈祖安	陈春槐
		汪景琦	郑连第	郭之章	赵珂经
		茹 智	陶芳轩	谈国良	徐曾衍
		蒋元骝	曹述五	曹松润	董其林
		颜振元	(以姓氏笔划为序)		

前 言

我国土坝灌浆的历史较早。五十年代末、六十年代初，河南、广东、山西、山东等省，针对土坝坝体出现裂缝和渗漏等问题，对坝体进行了灌浆。虽然已取得一定的效果，但由于灌浆机理不明确，基本上搬用地基灌浆方法，因此发展较慢，走了一段曲折的道路。七十年代中期山东省水利科学研究所总结以往土坝坝体灌浆的经验，提出劈裂式灌浆技术方案，经过近几年来试验研究和工程实践，总结出较为完善和系统的劈裂式灌浆方法。

为了总结这项技术，水利电力部于1977年、1980年在山东省召开了土坝灌浆技术经验交流会。1983年10月对“土坝坝体劈裂灌浆防渗加固技术”进行鉴定，认为土坝劈裂灌浆是灌浆技术的一个创新。它具有机理明确、工艺合理、工期短、见效快、经济效益显著等优点，可以在中、低水头的均质土坝和宽心墙坝中推广应用。1984年水利电力部正式推荐在全国范围内应用。目前国内估计已有600座以上土坝使用该技术，都取得较好的灌浆效果。

解放以来，我国修建了86000余座水库和17万km的堤防，其中绝大部分采用土坝（堤）坝型。由于设计、施工和管理上的原因，很大一部分坝体（堤）存在着渗透和变形稳定问题，严重影响工程的安全和正常运行。处理这些问题的方法有垂直防渗墙、坝体灌浆、增设或补强防渗斜墙等。防渗墙技术，五十年代末我国从国外引进，经过几十年工程实践，在我国有了新的发展。在机械方面除了用乌卡斯钻机造孔，

还可用抓铲、反向铲造孔。与此同时，人工造防渗墙技术也取得不少好的经验，例如，倒挂井开挖回填等已收到一定的效果。但由于防渗墙造价高，施工机械复杂，发展较慢，施工技术和工程效果还存在一定问题，因此，仍不是处理大量土坝的实际有效的方法。

土坝坝体劈裂灌浆技术克服了防渗墙存在的问题。它的基本原理就是利用坝体小主应力面基本沿坝轴线分布这一规律，用灌浆压力沿坝轴线劈裂坝体，灌入泥浆构造浆体防渗帷幕，解决坝体的渗透稳定问题；同时利用坝体的湿陷固结和浆坝互压，使坝体内部的应力得到改善，解决坝体的变形稳定问题。

对土坝坝体进行灌浆，如前所述并不是最近几年的事情，发现土坝劈裂也早有报道，但利用劈裂原理进行灌浆则是近几年的事情。目前不仅土坝坝体灌浆，就是地基灌浆也有人主张用较大的压力，使地基劈裂，取得其它灌浆方法所达不到的效果。劈裂灌浆从技术上有以下优点：利用较大的压力注入较多的浆料；浆液能进入更细小的裂隙；灌浆停止后，坝体回弹，压密了浆体和坝体；劈裂造成的灌浆帷幕与隐患连通，事半功倍；有一定规律可循，方法简单易行。

土坝坝体劈裂灌浆技术，目前多用于50m以下的均质坝和宽心墙坝，并适用以下几种情况：①施工质量比较差的土坝；②坝体内、外部有较多裂缝或大面积的弱应力区；③坝体浸润线过高，坝后大面积阴湿、散浸或集中渗漏；④分期施工的土坝分层和分段接头有薄弱带和透水层；⑤土坝内存在较多的生物洞穴等。利用劈裂灌浆技术进行土坝隐患的处理，符合多快好省的要求。

劈裂式灌浆技术，不仅在土坝坝体灌浆实践方面是个创

新，在加快危险土坝的治理方面也发挥了巨大的作用，而且为土力学、土坝设计理论增添了新的内容。但是，它同其它技术一样，由于研究时间较短和其它条件的限制，还有一些不足和需要继续研究的地方。例如，目前对50m以上土坝和窄心墙坝尚缺实践经验；用泥浆构造防渗帷幕，完全固结和压密尚需一年左右的时间等。进一步在理论上提高和廉价速凝的浆液的研究，是该项技术发展的方向。

本书前言、第二章，由白永年编写；第一、五、六章，由关德斌编写；第三、四、八、九章，由王洪恩编写；第七章，由刘宪奎编写。全书由水利电力部水利管理司牛运光同志审阅。并承蒙水利电力部的大力支持和国内各方面专家的指导，在此一并致谢。限于我们的水平，难免有错误和不足之处，欢迎批评指正。

目 录

序

前 言

第一章 土坝坝体劈裂灌浆的机理	1
一、灌浆方法的分类.....	1
二、水力劈裂与劈裂灌浆.....	3
三、土坝坝体弱应力面的位置.....	4
四、泥浆劈裂坝体的判断条件.....	4
五、泥浆劈裂坝体的规律.....	7
六、泥浆对坝体的充填作用.....	8
七、浆坝互压作用机理.....	10
八、湿陷作用.....	11
九、灌浆的固结和压密作用.....	12
第二章 土坝勘查与灌浆试验	14
一、勘查的目的和方法.....	14
二、工程资料的调查分析.....	14
三、灌浆试验的内容和方法.....	18
第三章 灌浆设计	30
一、钻孔的设计.....	30
二、灌浆压力的确定.....	32
三、灌浆帷幕厚度的确定.....	35
四、浆液选择.....	39
五、泥浆的析水固结计算.....	40

六、坝体整体稳定验算	44
七、坝体劈裂灌浆概预算	45
第四章 灌浆机械	47
一、造孔设备	47
二、WJ型搅浆机	53
三、HB型灌浆泵	56
四、WJG80型搅灌机	56
五、附属设备	64
第五章 灌浆浆液和材料	65
一、对灌浆浆液的基本要求	65
二、浆液基本性质指标与试验	65
三、灌浆材料	70
四、粘性土浆	73
五、水泥浆	76
六、水泥粘土浆	77
七、自凝灰浆	77
第六章 土坝劈裂灌浆的施工技术	79
一、施工前的准备工作	79
二、劈裂灌浆工艺流程	81
三、土坝岸坡段和曲线段的灌浆技术	89
第七章 土坝劈裂灌浆中常出现的问题及处理方法	92
一、裂缝	92
二、冒浆	93
三、串浆	94
四、塌坑	94
五、隆起	95
六、单孔吃浆量过大	95

七、缩孔卡钻	95
第八章 灌浆效果检查和验收	97
一、检查内容	97
二、验收标准	101
第九章 土坝劈裂灌浆实例（黄前水库）	103
一、黄前水库工程概况	103
二、灌浆设计	107
三、灌浆施工	109
四、效果检查	114
五、经济分析	117
附 录	
附表 1 灌浆钻孔记录表	126
附表 2 土坝灌浆记录表	127
附表 3 土坝灌浆汇总表	128
参考资料	131

第一章 土坝坝体劈裂灌浆的机理

一、灌浆方法的分类

为弄清劈裂灌浆的机理和工艺与其它灌浆方法的区别，扼要的说明灌浆方法的分类是必要的。

（一）按灌浆用途分类

可分为固结灌浆和防渗灌浆（帷幕灌浆）。当地基的强度及承载力不能满足建筑物要求时，可在建筑物基础范围内进行固结灌浆，其目的是为了加固和改善地基条件，其特点是灌浆面积较大，采用多排布孔，孔浅而密，所用灌浆材料多为水泥浆。当砂砾石地基或有裂隙岩石地基不能满足建筑物防渗要求时，可采用防渗灌浆，其特点是形成一道或几道防渗帷幕，以防止渗透，布孔为单排或几排（分主副排），孔深要穿过透水层，有时达上百米，灌浆材料可以是水泥浆、粘土水泥浆、水泥粘土浆、化学材料浆及其它特殊浆液。

（二）按灌浆部位分类

可分为坝基灌浆、坝体灌浆、接触灌浆（如坝与地基、坝与岸坡、坝与建筑物等接触部位结合不好，影响坝体安全或防渗效果，而进行灌浆处理称作接触灌浆）以及建筑物裂隙灌浆。

坝基灌浆又可分为岩石地基灌浆和砂砾石层地基灌浆。砂砾石层地基灌浆，其目的主要是防渗，一般多采用水泥粘土浆，施工技术比较复杂。岩石裂隙灌浆一般采用水泥浆，

如是更细小的裂隙可以用化学材料灌浆。建筑物裂隙灌浆，如放水洞裂隙，常采用环氧树脂灌浆等。

（三）按灌浆材料分类

主要可分为水泥灌浆、水泥粘土灌浆、纯粘土灌浆、化学灌浆及特殊浆液（如自凝灰浆等）灌浆等。化学工业和新材料的发展使灌浆材料性能有很大提高。纯粘土浆造价比较低，便于因地制宜，就地取材，是一种经济实用的灌浆材料。

（四）按灌浆机理分类

可分为渗透灌浆、充填灌浆及劈裂灌浆。几十年灌浆实践和不断总结经验，促使人们对灌浆机理的认识的深化和发展。目前人们对灌浆机理的认识大致分三种类型：①渗透灌浆。当浆液较稀时，浆液在压力作用下流入岩石裂缝和砂砾孔隙，然后浆液凝固，堵塞裂隙和孔隙。②充填灌浆。当裂缝和洞穴较大时，浆料将直接充填。在灌浆过程中需保持裂缝不扩大，因此使用压力较低。③劈裂灌浆。在掌握劈裂规律的情况下，对被灌体人为地加以控制，压入适当的浆液对坝体进行劈裂，达到防渗和加固的目的。目前不但土坝坝体可用劈裂灌浆法，地基灌浆（包括岩石地基）也可用劈裂灌浆法，取得其它灌浆方法所达不到的良好效果。在以上三种灌浆机理指导下，灌浆方法不同，采用的灌浆材料和适用条件也有所不同。特别应指出，在一定条件下，这三种灌浆机理可能同时存在，但其中有主要的和次要的。目前对灌浆机理在某些方面还存在不同的看法。

对于一个具体工程而言，可能地基与坝体都存在问题，也可能只有其中某一方面存在问题，因此要针对不同的问题，分别选用不同的灌浆方法，或者几种方法结合起来

使用。

本书着重介绍土坝坝体劈裂灌浆技术。长期以来，土坝坝体灌浆仅被理解为渗透和充填两种机能，把对地基灌浆的认识和工艺用于土坝坝体灌浆，虽然也取得一定的灌浆效果，但由于未抓住土坝的特点，而达不到理想的目的。其实，土坝坝体作为被灌体，应充分注意它与地基的几个本质上的区别：①土坝是个长条形建筑物，而地基是半无限体；②土坝为规则的梯形断面，而地基是轴对称形面，因此土坝坝体有个非常明显的薄弱面，这个面一般就在坝轴线附近，而地基则没有明显的薄弱面；③土坝是经过设计由人工堆筑压实而成，而地基则是自然形成的，作为被灌体需要灌浆的理由，前者比后者更为明确。因此，土坝坝体灌浆应与地基灌浆有所不同。土坝的以上特点，必然反映在灌浆方法中。

二、水力劈裂与劈裂灌浆

所谓水力劈裂就是在水压力作用下使原物体产生裂缝或使原有裂隙扩大的过程。早在三十多年前，水力劈裂（水压致裂）在石油开采、地应力测定方面就已成为一种新技术，而提出水压力劈裂坝体还是最近十年的事情。当初，人们认为这是一种应该绝对避免的现象。这对土坝设计和施工无疑是正确的，但对于土坝坝体灌浆施工却是很难避免的。山东省水利科学研究所从1970年以来对生花庵（小型）、石店（中型）、贺庄（大型）水库土坝进行灌浆，经开挖探井检查，上述几座土坝均发现在坝轴线附近形成一条或几条垂直连续的浆体帷幕。浆脉的宽度一般为20~30cm，最大可达86cm，单孔最大灌浆量近1000m³。这些情况用渗透和充填机理是不能解释的，而许多土坝灌浆的实践却表明，这些

土坝坝体是被泥浆劈裂的。一九七八年我们总结出劈裂灌浆工艺，在山东省西埠土坝进行试验获得成功，引起国内学者和工程界的重视。一些早在五十到六十年代进行土坝灌浆的同志也逐步认识到土坝坝体灌浆的机理主要为劈裂式，其中包括了充填。分析国内外土坝灌浆大量实例，其结果也基本如此。为什么土坝坝体灌浆很早就有实践，而最近才提出较完整的劈裂灌浆工艺方法呢？原因是没有把地基灌浆与土坝坝体灌浆很好的加以区别，一直用渗透机理和充填机理解释土坝坝体灌浆，有的虽然发现了灌浆注水试验时土坝被劈裂，但不能因势利导地利用这一规律达到提高灌浆效果的目的。

三、土坝坝体弱应力面的位置

土坝是具有梯形断面用土料堆筑而成的长条体建筑物。比较顺直的河槽段的土坝，其坝轴线附近是挤压力最小（最小主应力作用面）甚至出现拉应力的区域，土的抗拉强度很小，所以很容易沿坝轴线劈裂。另一方面，如果施工质量不好，河槽段土坝就容易沿坝轴线发生纵向裂缝，在这种情况下，灌浆也容易沿坝轴产生裂缝并扩展。

在土坝断面不规则的岸坡段，弱应力面可能垂直或斜交于坝轴线，因而容易产生横向或斜向裂缝，尤其是在地形突变的地方。土坝坝体灌浆劈裂面与弱应力面基本一致。土坝中弱应力面的存在，使灌浆时裂缝的产生和扩展很难避免，也很有规律，这就为劈裂灌浆提供了内在依据。

四、泥浆劈裂坝体的判断条件

灌浆时泥浆通过钻孔或裂缝（洞穴）作用于坝体，见

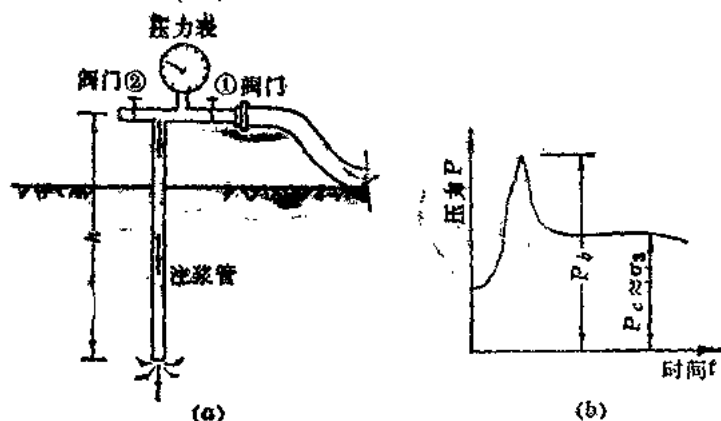


图 1 灌浆示意图
(a) 试验装置; (b) 压力过程线

图 1。

当坝体无裂缝时, 浆液通过钻孔劈裂坝体, 见图 1(a)。钻孔起裂所需要的孔口压力 p_0 , 可通过理论计算及试验得到, 而试验是通过压力表读数反映的, 其压力过程线如图 1(b)。

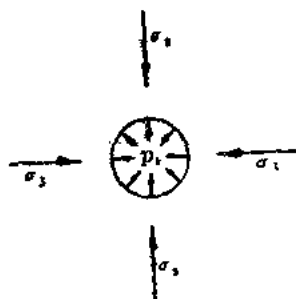


图 2 钻孔受力图

图 2 钻孔受力图中, σ_3 为钻孔平面的小主应力; σ_2 为与 σ_3 垂直方向的第二主应力。对于土坝河槽段, σ_2 等于 $\mu(\sigma_1 + \sigma_3)$, μ 为泊松比, 取 0.4; σ_1 为第一主应力, 近似采用土

柱重 γgh 。所以钻孔起裂时的孔口压力为:

$$p_0 = (2.5 - \mu)\sigma_3 - (\mu\gamma_{\pm} + \gamma_{\text{浆}})gh + \sigma_3 \quad (1)$$

式中 h ——注浆管长度，可近似取钻孔深度；
 $\gamma_{\pm}$ 、 $\gamma_{浆}$ ——土坝坝体密度和泥浆密度；
 σ_t ——土的抗拉强度。

从式(1)可知钻孔起裂时所需孔口压力除与土坝应力 σ_t 和土的抗拉强度 σ_t 有关外，还与钻孔深度、泥浆密度有关。我们把 σ_t 与土柱重 $\gamma_{\pm}gh$ 比值用 K 表示，则对于 $K=0.5, 0.6, 0.7$ ； $\gamma_{浆}=1.0, 1.2, 1.4\text{g/cm}^3$ 时， $p_0 \sim h$ 关系如图3。

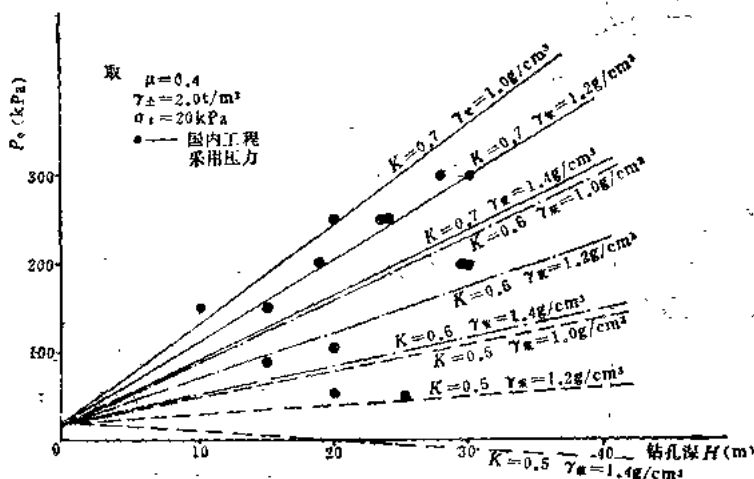


图3 钻孔起裂时的孔口压力值

分析图3可知，在泥浆压力作用下钻孔是容易被劈裂的。例如 $K=0.5$ ，孔口压力为 10N/cm^2 ，甚至为0，钻孔也被劈裂。目前国内土坝坝体灌浆采用的孔口压力一般为 $5 \sim 30\text{N/cm}^2$ （仍属低压）。在这样的压力下，不论是作为劈裂式灌浆，还是作为充填式灌浆，这些坝体均被有意或无意地劈裂了（反映在图3中即黑点平均在某条 K 值线以上）。