

目 录

前 言

第一章 概述	1
第二章 岩石基础灌浆试验	6
第一节 灌浆试验的任务与灌浆试验地段的选择	6
第二节 灌浆试验前应做的调查研究工作	7
第三节 灌浆试验孔的布置形式	9
第四节 灌浆试验施工	12
第五节 灌浆压力的初步选定	15
第六节 灌浆试验效果检查与试验报告的编写	19
第七节 岩石基础灌浆试验工程实例	21
第三章 灌浆帷幕设计	36
第一节 灌浆帷幕设计应考虑的问题	36
第二节 灌浆帷幕设计的特点	37
第三节 灌浆帷幕的位置	38
第四节 灌浆帷幕的形式和深度	39
第五节 灌浆帷幕的厚度和长度	42
第六节 灌浆帷幕结构的验算	48
第七节 弱透水岩石坝基防渗帷幕设计	52
第八节 灌浆帷幕防渗效率的估算	53
第九节 排水设计与施工	56
第十节 灌浆帷幕设计实例	59
第四章 岩石基础帷幕灌浆孔的钻进、冲洗及压水试验	64
第一节 钻进	64
第二节 冲洗	73
第三节 压水试验	78
第五章 岩石基础帷幕灌浆施工	91
第一节 灌浆的施工次序与施工方法	91
第二节 灌浆压力的控制与使用	97
第三节 灌浆浆液的使用与配合比的调换	99
第四节 灌浆结束的条件与封孔	105
第五节 灌浆过程中特殊情况的预防和处理	107
第六节 廊道内和其他一些情况下的灌浆施工	111
第七节 高压灌浆施工	116
第八节 岩石基础防渗帷幕灌浆工程实例	117
第六章 帷幕灌浆资料整理与灌浆效果检查	131

第一节	灌浆资料的整理	131
第二节	灌浆资料的检查与分析	142
第三节	灌浆效果检查	144
第七章	岩溶地区帷幕灌浆	148
第一节	岩溶地区防渗处理的重要性与建坝的地质勘测工作	148
第二节	岩溶地区防渗帷幕灌浆的特点	151
第三节	岩溶地区设置防渗帷幕应遵循的原则	153
第四节	岩溶地区灌浆施工技术 with 特殊地段的处理	155
第五节	岩溶地区大坝帷幕灌浆工程实例	158
第八章	岩石基础固结灌浆	170
第一节	固结灌浆设计	170
第二节	固结灌浆施工	173
第三节	固结灌浆效果检查	176
第四节	固结灌浆工程实例	182
第九章	砂砾石基础灌浆试验	196
第一节	岩层地质条件的调查与研究	197
第二节	灌浆试验孔的布置	198
第三节	灌浆试验施工中的几项工作	200
第四节	灌浆效果的检查及灌浆试验报告的编写	202
第五节	砂砾石基础灌浆试验实例	203
第十章	砂砾石基础帷幕灌浆	211
第一节	帷幕的设置与灌浆的施工次序	211
第二节	钻孔方法与灌浆方法	214
第三节	灌浆施工工艺	222
第四节	国外大坝砂砾石层基础灌浆帷幕设置形式与主要技术指标	230
第五节	砂砾石基础帷幕灌浆工程实例	234
第十一章	灌浆材料	244
第一节	概述	244
第二节	水泥	245
第三节	粘土	255
第四节	砂	257
第五节	水	258
第六节	附加剂	259
第十二章	浆液的配制、试验与用料计算	261
第一节	浆液在灌浆工程上的重要性及其选用的原则	261
第二节	水泥浆	262
第三节	粘土浆	270
第四节	水泥粘土浆	275
第五节	水泥砂浆及水泥粘土砂浆	281
第六节	水泥-水玻璃浆	282

第七节	配制浆液用料和浆液浓度变换加料计算	287
第十三章	化学灌浆	294
第一节	概述	294
第二节	西凝灌浆	299
第三节	聚氨酯灌浆	305
第四节	其他化学材料灌浆	310
第五节	化学灌浆工程实例	313
附 录		
附录I	水文地质与工程地质	325
附录II	钻探机械与灌浆机械	343
附录III	法定计量单位	349
参考文献		352

第一章 概 述

修建大坝，拦水造库，这是人们征服自然和改造自然，使其为人类造福的一个重要措施。建造大坝，一定要确保大坝的安全，否则，大坝一旦失事，将会导致巨大的灾害。

为了使大坝能够长期地、安全地正常运行，自勘测阶段起，经过设计、施工、直至大坝竣工后水库的管理和运用，均需全面地、慎重地考虑，认真地做好工作。

当开始修建大坝时，首先应做好坝基处理工作。实践经验证明，基础处理好后，大坝的兴建就比较方便了，大坝的安全才有了保证。反之，基础处理若没有做好，则会留下隐患，大坝建成蓄水后，很难补做，有时常需限制水位运行，待基础处理好后，才允许正常运行，我国是有这样实例的，例如陈村、凤滩水电站就是如此。

作为大坝基础，不论是岩石或砂砾石层，均需具有可靠的防渗性、足够的耐压性和一定程度的均质性。但一般天然岩石或砂砾石层很少具备这些条件。所以，常常需要进行处理，改善它的各项性能。如果遇到软弱、破碎、多裂隙、节理发育、渗透性大等地质条件较差的大坝基础岩石，则更需要进行处理，使之适应筑坝工程的需要。

近几十年来，各国在坝基处理方面，广泛地采用了灌浆方法，其主要优点是：效果较好，适用性较大，施工比较简单，也比较经济。

灌浆施工技术，最早是应用在修建闸和船坞工程中，即是在压力作用下，将粘土一类的浆液灌入到闸基或船坞边墙和地板的孔隙内。以后，在修建隧洞、隧洞和太坝等工程中，逐渐加以使用。灌浆材料则由粘土发展到使用水泥，由于水泥的优点很多，故水泥灌浆的使用范围比较广泛。

根据技术文献记载，在二十世纪以前，没有正式进行过大坝基础灌浆。以后，由于筑坝工程的需要和发展，在大坝基础处理上才开始采用灌浆的方法。通过实践，证明效果好。于是在建坝的过程中，使用灌浆技术愈来愈广，逐渐发展成为一种专门性的技术科学。

随着水利水电建设的发展，世界上修建的大坝愈来愈多，地质条件良好的坝址，多已尽先开工修建，近期在一些地质条件复杂的，如岩溶发育、冲积层深厚、渗透性大的地区，也逐渐修建起大坝，甚至有许多是100m以上的高坝。因此，针对各个坝址不同的地质条件，采取相应的加固和防渗措施，改善坝基岩石或砂砾石层的各项性能，使之适合于大坝稳定的需要，就成为在该区筑坝工程上的关键问题。

在地质条件复杂地区修建大坝，其基础灌浆的规模常常很大，施工比较艰巨，工艺技术也比较复杂。如有的大坝，其基础处理灌浆所用的水泥几乎与浇筑该坝体所用的水泥量相等；有的在岩溶地区修建大坝，其基础处理灌浆的费用甚至超过大坝的造价；有的大坝砂砾石层基础的防渗帷幕由近十排的灌浆孔组成，深达250m。在这种情况下，大坝的基础处理工作就更具有其特殊的重要意义。由于基础岩石不良，灌浆工程量，帷幕造价也

高，故对改善坝地质条件，应给予足够的重视。

解放前，我国修建的坝和水库为数极少。解放后，随着农业、工业、基本建设和科学技术等的迅速发展，水利水电建设事业也取得了很大的进展。据1981年的不完全统计，全国建成各类水库8万余座，总库容 $4169 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。高度大于100m的大坝，已建成的有19座，在建的有6座^①。由于这些水利水电工程的建成，大大地增加了农田的灌溉面积，有效地控制了洪水，提供了廉价的电力，对工农业的生产起到了有力的推动作用。

修建的大坝愈来愈多，基础处理灌浆工作也随之由易至难，由一般性施工至特殊处理，并有了很大的发展和提高。目前我国不仅能很好地解决地质条件比较简单的坝址的基础处理问题，即使是地质条件复杂的坝址，经过详细的勘察和灌浆试验，广泛地采用新技术，也能妥善地处理好。前者实例很多，不再列举。后者例如新安江大坝、丹江口大坝的基础中均有大断层和软弱破碎带；青铜峡大坝的基础中不仅有断层破碎带，还有溶洞；密云水库大坝砂砾石层厚达44m，渗透系数最高达900m/d等等。这些坝基经过灌浆处理，均达到了设计要求，历经二十年左右的运行，一切正常。近期我国在岩溶发育、断层多的灰岩地区，胜利地建成了乌江渡高坝（最大坝高为165m），基础防渗采用了以帷幕灌浆为主的处理措施，效果良好，是我国在灰岩岩溶发育基础上修建高坝成功的先例。

六十年代初期，为解决某些特殊的坝地质问题，国内开始研究并采用了化学材料灌浆。经过了近二十年来的试验和实践，发展很快，解决了不少坝基处理上的疑难问题，取得了很好的成绩。就目前情况看，化学灌浆仍属新型的灌浆技术，尚存在一些问题，例如灌浆材料对环境的污染，成本比较高，灌浆施工工艺的改进以及专用设备的研制等问题，均需继续研究，通过实践，不断改进和提高，以有利于更好地推广使用。

一、大坝基础灌浆的作用

大坝基础灌浆，简单地说，就是把那种既具有流动性又具有胶凝性的浆液或化学溶液，按规定的浓度，通过机械和特设的钻孔，用压力压送到基础岩石或砂砾石层中。这些浆液，压入到岩石中的裂隙或砂砾石层中的孔隙，填充空隙，经硬化、胶结、形成结石，加强固结与防渗性能，起到改善基础地质条件的作用，从而满足坝基设计的要求。

二、大坝基础灌浆的重要性

大坝多是修建在峡谷的河流上，其基础不是岩石就是砂砾石。天然岩石主要由于受到地质作用和风化作用，一般都具有裂隙、断层等地质构造现象。又由于长期受地下水的侵蚀，一般常形成大的裂隙或溶洞。河床的砂砾石层大都是松散的，其颗粒间的绝对空隙尺寸常很大，孔隙率一般也常较大。这些岩石或砂砾石层若作为大坝的基础，则必然是透水的，而基础的力学性能也多不能满足大坝稳定的要求。为此，常常需要进行处理。

由于坝地质条件、建坝目的和大坝类型的不同，基础灌浆处理的方法和施工技术的繁简程度也不一样。地质条件比较好的，灌浆工作就简单些，容易些；地质条件复杂的，则灌浆工程量就要大些，施工也要艰难些。对高坝的基础，要求就应严一些。

① 中国水利学会手册，1983。

如果坝基不做处理或处理不当,常会造成损失,轻者漏水,水库不能发挥应有效益;严重者,会招致大坝失事,造成灾难。如西班牙的蒙特热克坝,虽然大坝仍然屹立,由于基础岩石渗漏严重,水库长期不能蓄水。美国的赫尔斯·巴尔坝是修建在岩溶发育区的灰岩上,大坝建成后,曾断断续续地进行灌浆处理,历时长达26年之久,由于始终未能有效地解决严重的渗漏问题,最后被迫放弃该坝^[20]。

三、大坝基础灌浆的分类与应用

1. 按照灌浆的作用来划分

(1) 固结灌浆:除为特殊加固深层而采取深孔固结灌浆外,一般是在岩石表层钻孔,进行固结灌浆。

固结灌浆的主要目的是:1)改善岩石力学性能,如提高岩石的弹性模量和岩石的承载强度,提高岩石的密实度,增进岩石的均一性,减少岩石变形和不均匀沉陷;2)改善岩石条件,减少坝基岩石开挖深度;3)基础岩石表层大面积的固结灌浆和帷幕前面较深钻孔的固结灌浆,对截断基础岩石内的渗流有利,可以增进帷幕的防渗效能;4)上游坝基以外的固结灌浆也常能起到削减幕前水头的作用。

固结灌浆施工的特点是:孔浅、孔多,灌浆孔在坝基内呈面状分布,当岩石裂隙中充填有粘土等杂质时,有时需要划分孔组,使用风水进行群孔冲洗,而后进行群孔灌浆。

(2) 帷幕灌浆:帷幕灌浆是在坝基内,平行于坝轴线并多在其上游处,用灌浆方法将浆液灌入到岩石的裂隙或砂砾石层空隙中去,形成一道防渗的条带,类似帷幕形状,称为灌浆帷幕。因其主要作用是防渗,故又称防渗帷幕。

帷幕灌浆的主要目的是:1)截断基础渗流,保证设计水头,以满足水库及坝工设计的经济效益;2)降低基础扬压力,从而使大坝断面可以减小,节省工程量,降低造价,缩短工期;3)防止集中渗流,避免在基础中发生冲刷、管涌,保证坝基渗透稳定和大坝安全。

帷幕灌浆施工的特点是:钻孔较深,钻孔呈线形排列,多采用单孔灌浆,由于孔深,灌浆压力也较大。

(3) 接触灌浆:在岩石基础上修建重力坝,在坝体混凝土与岩石接触面间,常常需要进行灌浆,对两岸陡峭(大于 45°)的岩壁,尤应加强接触灌浆。

接触灌浆的主要目的是:加强两者间的紧密结合和基础的整体性,提高岩体的抗滑稳定,并增进岩石固结与防渗的性能。

2. 按照大坝基础岩类的构成来划分

(1) 岩石灌浆:岩石灌浆多采用水泥作灌注材料。当岩石裂隙多、空洞大、吸浆量很大时,为了节省水泥,降低工程造价,改善浆液性能,常加用砂或其他材料;而当裂隙细微,水泥浆难以灌入,基础的防渗不能达到设计要求时,近年来已开始采用化学材料灌浆的方法处理。

(2) 砂砾石层灌浆:砂砾石层灌浆的目的主要是防渗,一般多采用水泥粘土浆进行灌注,施工技术比较复杂。

3. 按照灌注材料来划分

(1) 水泥灌浆: 灌注材料中最常用的是水泥, 因为它的优点很多, 因此水泥灌浆使用范围很广, 除大坝岩石基础等各项灌浆需用外, 在大坝接缝灌浆, 隧洞灌浆和水利建筑物混凝土补强灌浆等方面均可应用。

(2) 水泥粘土灌浆: 水泥、粘土与水混合经搅拌后即可配制成水泥粘土浆, 多用于砂砾石层灌浆, 在国外也常用于岩溶地层灌浆。

(3) 水泥砂浆灌浆: 水泥、砂与水混合经搅拌后即可配制成水泥砂浆, 多用于大孔隙、溶洞等灌注浆量大的地段灌浆。隧洞回填灌浆中也常使用这种浆液。

(4) 化学灌浆: 化学灌浆是发展较晚的一种新的灌浆技术, 其所用的浆液系由化学材料配制而成, 是真溶液, 能灌入细缝中。近期, 化学灌浆已在大坝基础的防渗、加固和水利建筑物的混凝土裂缝处理等方面正式应用。

4. 按照使用的压力来划分

(1) 常规压力灌浆: 灌浆压力系用通常规定的公式计算, 如第二章中式(2-1)~式(2-8)或图2-8所示, 通过灌浆试验或在施工实践中加以验证和修订。国内外多数大坝基础灌浆都是在常规灌浆压力下进行的, 其值一般在 $30 \sim 40 \times 10^5 \text{N/cm}^2$ 以内。

(2) 高压灌浆: 为了某些特殊处理的目的, 大坝基础灌浆有时采用大于 $40 \times 10^5 \text{N/cm}^2$ 的高压, 例如乌江渡大坝基础帷幕灌浆采用了 $60 \times 10^5 \text{N/cm}^2$ 以上的灌浆压力; 意大利的瓦尔·盖立纳拱坝和桑塔·久斯庭纳拱坝基础帷幕灌浆的最大灌浆压力为 $80 \times 10^5 \text{N/cm}^2$ 。进行高压灌浆, 在灌浆设备、管路、施工工艺, 以及技术要求等方面, 均需做专门的研究和准备。

四、大坝基础灌浆的特点和今后的研究方向

应予强调的一点, 大坝基础灌浆是一种特殊的隐蔽性工程, 所以, 在施工过程中的各种原始记录工作与技术资料整理工作非常重要, 一定要切实做好, 认真对待。其内容与整理方法在第六章中详述。

另外, 大坝基础处理的方法, 多种多样, 灌浆是其中比较常用的一种, 它的优点很多, 但也有一定的局限性, 并不是任何基础问题都能靠它来解决。所以在考虑如何进行大坝基础处理时, 应根据坝工需要和实际的地质条件, 可以采用一种或几种方法相结合的处理方式, 则更为有利。

就我国实际情况而言, 地质条件好的坝址终是有限的, 今后在地质条件复杂地区修建的大坝, 将会愈来愈多, 基础处理难度, 也将越来越大。例如, 在建的龙羊峡、铜街子、安康水电站、故县水库等, 大坝基础岩层均存在着各种不同的问题, 需要很好的处理。计划中要兴建的小浪底水库, 坝基砂砾石层最厚达80m; 隔河岩、彭水大坝基础岩石岩溶发育; 二滩水电站大坝右岸坝肩基岩中潜伏有闪石化玄武岩, 弹性模量很低, 是否可以用灌浆方法处理等等, 难题很多。为此, 对于作为大坝基础处理主要手段之一的灌浆技术, 必须进一步深入钻研, 勇于革新、创新, 提高技术水平, 使其能更好地、更快地、更多地

① 本书采用法定计量单位。法定计量单位的表示法及其与常用的计量单位表示法的对应关系见附录III。

解决一些基础处理上的难题。初步考虑，应继续做好下列各项工作：

- (1) 加强开展灌浆理论的系统研究。
- (2) 研究特殊疑难地层，例如深厚砂砾石层，强岩溶地区、泥化夹层以及断层、构造破碎带等的灌浆技术。
- (3) 研制新型灌浆材料。
- (4) 研究提高灌浆质量的措施，检查灌浆效果的有效方法和提高生产效率的施工工艺。
- (5) 研制钻孔和灌浆的新机具、新设备，提高灌浆工程的机械化与自动化程度。

第二章 岩石基础灌浆试验*

由于各地区的地质条件不同,坝型各异,故水工设计对大坝岩石基础的要求也不尽相同,故以往同类工程的灌浆经验,只能做为参考,不宜直接搬用。为了使灌浆设计和施工技术要求更符合实际情况,灌浆孔布置更为合理,常常需要先期在工地进行灌浆试验,以试验所得的成果做为基础灌浆设计、施工的主要参考资料。

灌浆试验是一项比较繁杂而又细致的试验性工作,为了一项特殊目的,常常需要使用多种方法,反复地进行试验。灌浆试验工程量虽不大,但由于严格要求依照次序施工,其工艺又多是探索和试验性的;同时因施工场地小,使用钻机数目受限,因此,灌浆试验施工时间可能较长,如欲做此项工作,应提前做好安排。

第一节 灌浆试验的任务与灌浆试验地段的选择

一、灌浆试验的任务

- (1) 论证坝基采用灌浆方法处理在技术上的可能性,效果上的可靠性和经济上的合理性。
- (2) 推荐合理的施工程序、良好的施工工艺、合宜的灌浆材料和最优的浆液配比。
- (3) 提供有关的技术数据,如孔距、排距、防渗帷幕厚度和深度以及有关灌浆施工定额资料;选定灌浆压力,提出灌浆机械设备意见等,作为编制基础灌浆设计和施工技术要求文件的依据。

二、灌浆试验的布置

灌浆试验工作一般是在工程的技术设计阶段或当水工建筑物的位置已经基本确定的情况下进行的。对一些重要的工程,或基础地质条件复杂,如有构造断裂、透水性严重、岩层特别软弱等,因而基础处理对修建大坝具有关键性的影响时,有的工程则在初步设计阶段即进行灌浆试验。

三、灌浆试验的内容

灌浆试验主要包括下述内容:

- (1) 制定灌浆试验工作计划,编制灌浆试验技术任务书。
- (2) 制定钻孔、冲洗、压水试验和灌浆工艺等的技术要求和施工方法。

* 本章所讲,多指帷幕灌浆试验。因帷幕灌浆试验除少数地方在文中予以阐述外,其余方面可参照帷幕灌浆试验考虑。

- (3) 灌浆质量检查与灌浆效果鉴定的方法和标准。
- (4) 灌浆材料, 浆液及浆液结石等的物理、力学和化学性质的试验工作。
- (5) 灌浆试验资料的整理分析, 试验成果的解释及编写试验报告。

四、灌浆试验地段的选择

正确地选择灌浆试验地段, 对将来正确地指导基础灌浆有着重要的意义。选择灌浆试验地段时, 一般要考虑下面几个条件:

(1) 试验地段的地质情况应具有代表性。通常灌浆试验地段可考虑选在相当于未来灌浆地区所具有的中等偏劣的地质条件的地段上。

(2) 帷幕灌浆试验地段, 可以选在拟定的防渗帷幕的上游部位, 当帷幕灌浆试验完毕后, 即使灌浆质量未达到原规定要求, 也不影响将来防渗帷幕的修建, 同时, 还可起到帷幕深孔固结作用, 有利于坝基的防渗。如果地质条件比较简单, 对灌浆质量有把握时, 灌浆试验地段也可选在拟定的防渗帷幕线上, 这样, 所得到的灌浆成果资料, 更符合实际地质条件。灌浆试验完毕后, 本试区即可作为防渗帷幕的一部分, 从而可以节省防渗帷幕的工程量。

固结灌浆试验地段, 一般可选在坝址区需要处理的部位。灌浆试验完毕后, 就做为将来基础固结灌浆处理的一部分。

(3) 由于灌浆试验的目的不同, 在地质条件复杂而差别又大的情况下, 在筑坝区域内, 可根据需要, 按照实际的具体情况, 选择几个有代表性的地段进行试验。有些大型的坝, 当所在地区的地质条件复杂而又多变化时, 为了不同的试验目的和各种技术措施的比较, 常选择 3~4 个地段进行灌浆试验。如刘家峡大坝, 为了给右坝肩的基础处理, 地下厂房顶部岩石的加固, 左岸断层的防渗和副坝砂砾石基础的防渗与稳定提供设计所需的基本资料, 选择了四个地段进行灌浆试验。潘家口水库大坝选择了一般地区和断层部位两个地段, 三门峡大坝为了不同的目的选择了四个地段进行灌浆试验。国外如巴基斯坦的孟格拉坝, 做了四个地段的岩石基础灌浆试验和一个地段的砂砾石层灌浆试验。

(4) 选择灌浆试验地段时也应考虑地形、供水情况、试验区的运输条件, 是否受河流水情影响以及试验场地铺设的难易等。

第二节 灌浆试验前应做的调查研究工作

一、灌浆试验前应进行的调查工作

- (1) 了解坝址区的地质情况, 如断层、裂隙、破碎带等的性质和情况。
- (2) 分析各种不利的地质条件, 如大裂隙、破碎带、软弱夹层、岩溶洞穴和填充物的情况等。
- (3) 调查坝址区的水文地质情况, 如基础岩层的透水性、地下水流速、含水层的埋藏条件和地下水的性质等。

二、灌浆试验地段选定后应进行的研究工作

灌浆试验地段选定后，为了编制灌浆试验工作计划，初步制定灌浆技术要求，确定灌浆材料和浆液的试验，还应该继续深入地做一些研究工作。

1. 岩性的研究

对于岩石种类、成分、岩层构造、岩性特征要做仔细的了解和研究，因为这些因素对选择钻孔方法和灌浆技术措施有很大的影响。实践表明，钻孔的结构、钻进方法和钻孔方向，在很大程度上决定于岩石的硬度，岩层的完整性或松散程度以及层面和裂隙的倾斜方向。灌浆的方法和灌浆压力的大小，在一定程度上也是根据岩石的种类和层面的方向而定的。

有时为了解决一项特殊地质问题的处理，也常常需要选定一个试验地段，布置一些试验工作。例如三门峡大坝的第四试验地段是专门为了解决破碎带的处理效果而布置的；普定工程初设阶段为了探索断层破碎带的夹泥冲洗和处理，也进行了冲洗灌浆试验。

2. 裂隙和空洞性质的研究

岩石中的裂隙和空洞是灌浆的直接对象。要取得良好的灌浆效果，必须首先对裂隙和空洞做详尽的研究。搞清它们的性质，如裂隙的宽度尺寸，裂隙的方向，分布的情况；空洞的大小，分布的情况，裂隙中填充物的种类和填充的密实程度等。这些对选择灌浆方法、灌注材料、钻孔方法、冲洗措施，均有着很大的影响。譬如，为了减少钻孔工程量，增进灌浆效果，钻孔的孔向布置以与裂隙的方向相垂直为好；裂隙或空洞很大时，需要采取浓浆，或掺用粗粒材料灌注；裂隙或空洞中有填充的粘土质等杂物时，往往需要采取冲洗措施，以清除这些填充物，为有效地灌浆创造条件。

3. 基础岩层渗透性的研究

岩石的渗透性是布置灌浆试验，选定灌浆方法的主要依据。目前在基岩中主要是用压水试验的方法，求得岩石的单位吸水量，以了解岩石的渗透性质。

根据岩石单位吸水量所编制的渗透剖面图，可以作为确定防渗帷幕深度、厚度以及灌浆试验孔应如何布置的主要资料。所以，在灌浆试验前，详细摸清基础岩石的渗透性是非常必要的。

4. 灌注材料的调查与研究

基础灌浆除主要所用的水泥外，有时需要较多数量的粘土或砂作为掺合料。在灌浆试验前，对这些材料的产地、储量、性能以及开采运输条件等需做充分的调查和研究，并选取试样送试验室进行物理、力学及化学性能试验。

在基础岩石的单位吸水量已经很小，岩石裂隙又细微的情况下，如果对这样的基础岩石既要求固结，又要求提高防渗标准时，一般则需使用更细的水泥作灌注材料。对这种高细度的水泥，可以向水泥厂专门订货，也可以根据情况自行加工磨细，对其性能和搅拌的方法及设备应进行试验研究。若高细度的水泥仍不能满足灌浆要求时，则需考虑用化学灌浆材料进行灌注试验。

5. 灌浆浆液的性能试验

适宜的灌浆材料和浆液是取得良好灌浆效果的重要因素。因此，在灌浆试验前，对所拟使用的各种灌浆浆液也应进行各项试验。如果考虑在浆液中需加入某些附加剂或掺合料

时, 同样地需要进行试验, 了解它们的性能和适当的掺入量, 最后确定合宜的灌浆材料及适用的浆液, 并确定浆材合宜的配比和外加剂适宜的掺入量。

需要进行试验的各种材料的名称、试验的项目、试验的要求等, 均应在灌浆试验技术任务书中予以写明。

灌浆材料和浆液的性能试验的细节见第十一章和第十二章。

6. 地下水的水质分析

了解地下水与河水的水质, 鉴定其有无侵蚀性, 这与选用灌浆材料的品种有关。如刘家峡大坝基础的地下水具有硫酸盐的侵蚀性, 故采用抗酸水泥做灌浆材料。

第三节 灌浆试验孔的布置形式

灌浆试验孔的布置形式, 主要是根据水工建筑物对基础的要求, 灌浆试验的目的和基础岩层的地质条件而定的。由于上述的要求、目的和条件各个工程往往不同, 所以灌浆试验孔的布置也没有一定的规律和形式。

一、帷幕灌浆试验孔的布置

1. 单孔

在初步设计阶段, 当遇到地质情况比较复杂的地区, 有的在該处布置一个钻孔, 或是利用地质勘探孔做灌浆试验, 求得岩石的可灌性能, 了解注入量多少及其他一些有关数据, 以便对用灌浆方法处理这种基础有一初步概念。

2. 单排孔直线式

灌浆帷幕如果考虑由单排孔组成时, 则试验孔可按直线排列的布置形式, 就是单排孔直线式。这种布孔形式又可分为同次序等距孔和同次序不等距孔的两种基本形式。

(1) 同次序等距孔形式: 在同次序孔中间, 等距插孔, 做为下次序孔, 见图2-1, 即 $AC = CB = \frac{L}{2}$, $AD = DC = CE = EB = \frac{L}{4}$, 这种布孔形式, 具有平行试验的意义, 在同样孔距条件下, 其试验成果易于分析和正确地反映灌浆的效果。

(2) 同次序不等距孔形式: 第I次序孔中间的插孔为不等距, 见图2-2, 即 $AC \neq CB$, 以后, 在AC、CB各自区段内, 再中间插孔时, 则均为等距, 即 $AD = DC = \frac{L_1}{2}$, $CE = EB = \frac{L_2}{2}$ 。这种布孔形式, 可以得到较多的不同孔距的灌浆资料。

3. 双排孔形式

灌浆帷幕如欲以两排钻孔组成时, 灌浆试验则可以采用下列布孔形式, 见图2-3。

4. 三排孔形式

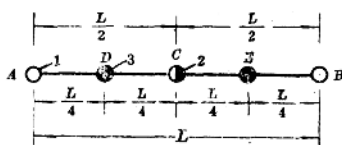


图 2-1 同次序等距孔形式

1—第I次序孔; 2—第II次序孔; 3—第III次序孔; L—第I次序孔距

图2-4的布孔形式是三排孔形式的一种。这种布孔形式，既有直线式的加密性质，也有四面围住，逐渐缩小范围的加密性质。对于三排钻孔组成的灌浆帷幕来讲，这种布孔的灌浆试验有着一定程度的代表性。

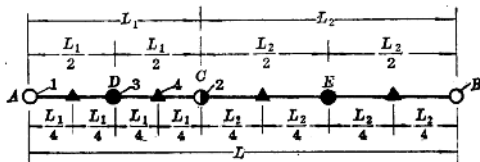


图 2-2 同次序不等距孔形式

1—第I次序孔，2—第II次序孔，3—第III次序孔，4—第IV次序孔，L—第I次序孔距

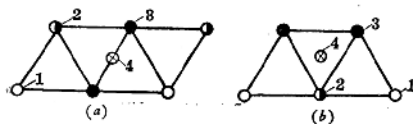


图 2-3 双排孔形式

1—第I次序孔，2—第II次序孔，3—第III次序孔，4—检查孔

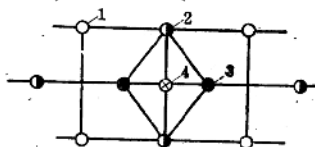


图 2-4 三排孔形式

1—第I次序孔，2—第II次序孔，3—第III次序孔，4—检查孔

5. 其他布孔形式

试验孔的布置采用孔排相互垂直的形式时，如试验地段选在设计帷幕线上，最好是一排孔在帷幕上，另一排孔则与帷幕线垂直。如三门峡大坝的灌浆试验布孔采取的形式有“⊥”、“⊥”和“⊥”型等。

二、固结灌浆试验孔的布设

1. 简易布孔形式

简易布孔通常采用的有下列几种形式，见图2-5。

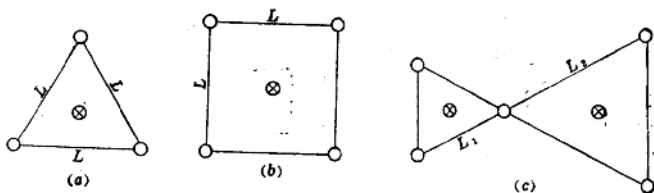


图 2-5 简易固结灌浆试验孔布设形式图

(a)正三角形，(b)方形，(c)双三角形($L_1 > L_1$)

○—灌浆孔，⊗—检查孔

2. 多孔布设形式

多孔布设形式，一般常采用的如图2-6所示。

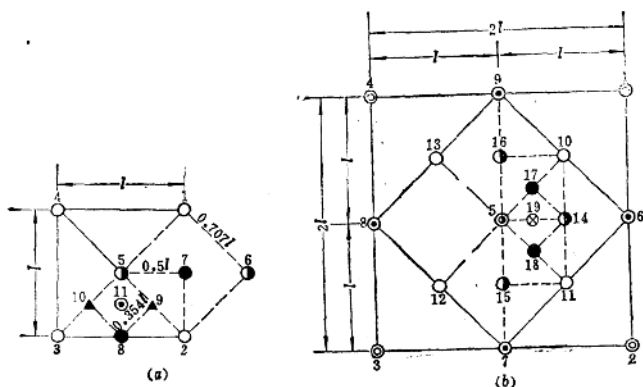


图 2-6 周结灌浆试验孔布置图

(1) 图2-6(a)布孔形式的特点

1) 孔数11个, 可以求得四种孔距的灌浆效果。

2) 孔距

第一种孔距为 1, 由 1、2、3、4 号四个孔组成, 检查孔为 5 号孔。

第二种孔距为 $0.707l$ (即 $l\sin 45^\circ$), 由1、6、2、5号四个孔组成, 检查孔为7号孔。

第三种孔距为 $0.5l$ (即 $l\sin^2 45^\circ$), 由5、7、2、8号四个孔组成, 检查孔为9号孔。

第四种孔距为0.3541 (即 $l \sin^2 45^\circ$), 由5、9、8、10号四个孔组成, 检查孔为11号孔。

若取 $l = 4 \text{ m}$, 由灌浆试验可以得出边长分别为 4、2.8、2 和 1.4 m 方格形布孔的灌浆成果。

3) 控制面积范围较小, 代表性可能稍差, 每种孔距仅有一个检查孔。

(2) 图2-6(b)布孔形式的特点

1) 孔数19个, 主要也是求得四种孔距的灌浆效果, 实际上是由1、6、5、9号孔; 6、2、7、5号孔; 5、7、3、8号孔; 9、5、8、4号孔组成四个边长为1的方格形, 但1~9号孔仍是依三个次序施工。

2) 孔距

第一种孔距为 1 的, 有 10、11、12、13 号四个检查孔。

第二种孔距为 $0.707l$ 的, 有14、15、16号三个检查孔。

第三种孔距为0.5^l的,有17、18号两个检查孔。

第四种孔距为0.354^l的,有19号一个检查孔。

3)控制面积范围较大,每种孔距有较多的检查孔,可以相互对比,反映情况充分,最后可以选定合宜的孔、排距,进行全面的固结灌浆施工。此种灌浆试验也可以称为试验性的灌浆。

4)这种布孔形式多是结合施工,在需要灌浆的基础岩石部位进行,虽然孔数多些,但可取得较完整的试验资料,同时所有的灌浆孔也均起到了固结的作用。

三、布置灌浆试验孔应考虑的条件

灌浆试验地段的布孔数量,主要根据基础岩石的地质条件而定。地质条件简单而较好的,布孔少些;地质条件复杂而又较坏的,布孔需要多些。

初步设计阶段,如遇地质条件不良而又需要进行灌浆试验时,可考虑布置1~3个孔做简易试验,并尽可能地利用地质勘探孔做灌浆试验。在技术设计阶段,每个试验地段,一般常布置7~9个孔或更多一些。如潘家口水库大坝、乌江渡水电站大坝帷幕灌浆试验均布置10个孔,如图2-4所示。国外有关实例,如巴基斯坦的孟格拉坝,有的试验地段布置16个孔,最多的为26个孔。

在灌浆试验孔的布置中,第I次序孔的孔距主要是根据地质条件,如透水性、裂隙性和一定的灌注技术来选定的。一般的原则是,裂隙发育透水性强的地区,孔距可长些;裂隙不发育,微细者多,透水较弱的地区,孔距可短些。以后根据每个次序孔的单位注入量和单位吸水量的递减情况,经检查和分析,最后选定合理的孔距、排距及适宜的施工次序。

灌浆试验一般多采用3~4个次序。

在研究了地质条件及坝工设计对帷幕的防渗要求之后,可以初步得出帷幕结构的设想。根据这个设想,来考虑灌浆试验孔的布置形式。如果设想的是单排孔帷幕,则宜选定单排孔直线式布孔,如图2-1、图2-2所示。如果设想的是双排孔帷幕或三排孔帷幕,则可分别采用图2-3和图2-4所示的布孔形式。

第四节 灌浆试验施工

灌浆试验施工必须遵循逐渐加密的原则进行,即首先将第I次序孔钻完灌完后,再开始第II次序孔的钻进工作。但当钻孔深度较大时,这样做耗费的时间太长,因此,也可采取相邻两个次序钻孔在高程上相差3~4段的情况下,同时钻进的方法。例如三门峡大坝灌浆试验中规定:只有当前一次序的钻孔已进行了三段灌浆后,才允许开始后一次序钻孔的钻进工作。这样做将有利于质量的检查及资料的分析工作。

在不同地质条件下,由于灌浆试验目的不同,因而灌浆试验施工程序和实际灌浆施工并不完全相同,冲洗的方法也不尽一样。一般情况下可按下列顺序进行,即:

①钻孔→②冲洗→③简易压水试验→④灌浆→⑤待凝后重新钻开原灌浆段

——⑥冲洗后再做简易压水试验检查——⑦检查合格后，再开始钻进下一段。

在灌浆试验过程中，简易压水试验次数多少，使用多大压力，做几个压力阶段，稳定时间多长等问题，均应结合灌浆地区岩石的地质条件及坝工设计对灌浆的要求、目的而定，也不是千篇一律的。

顺序⑤～⑦并非是完全必要的，可视灌浆试验的实际情况确定是否选用。

有关钻孔、冲洗、压水试验、灌浆施工工艺等各方面的内容，注意事项及施工方法，见第四章和第五章。

现仅简要地叙述在一般情况下，灌浆试验工作中各项程序的主要内容。

一、钻孔

试用各种方法钻进，求得钻进效率最高而又经济的钻进方法及适用的机具。钻孔工作中应注意的事项见第四章第一节。

二、冲洗

根据试区地质条件和水工设计的要求，试用多种方法进行冲洗，为将来正式灌浆施工，选用有效而又经济的冲洗措施。冲洗的目的和方法见第四章第二节。

三、简易压水试验

在每一段灌浆前，要做简易压水试验，有的工程仅做一次，压力采用低压或是较高的压力。有的工程进行两次，先进行较高压力的压水试验，而后再进行一次低压压水试验。一般情况下，多采用前一方式。

(1) 高压压水试验：一般是在用压力水冲洗钻孔完毕后，紧接着进行高压压水试验，其压水试验的压力与冲洗时所用的最大压力相同，压入水量达到稳定后，延续 30～60min 即可结束，计算出单位吸水量值。根据各次序孔的单位吸水量值，也可概略地观察出灌浆的效果。这段灌浆完毕后，一般都以此单位吸水量值与其相应的单位注入量值绘制成关系线。

(2) 低压压水试验：低压压水试验的做法与要求，应与本地区地质勘探时压水试验的做法相同。在地质勘探时，压水试验常采用低压、三个压力阶段，如采取静水头 5m、10m、15m；或采用水泵压水 $1、2、3 \times 10\text{N/cm}^2$ ，故称为低压压水试验。

近期地质勘探所做的压水试验，为简便起见，也常采用一个压力阶段。如果本地区的地质勘探压水试验系采用一个压力阶段，则本项压水试验的做法和压水压力值亦均与之相同。

本项压水试验的目的，是利用它计算出的单位吸水量，与地质方面提出的有关渗透资料相对照，用同一标准求出本试区岩石的渗透性，找出相对不透水岩层的深度。

本项压水试验可在少数选定孔中进行。

四、灌浆

在一般情况下，最好采用自上而下的施工方法，这样做既易保证灌浆质量，资料分析也较准确。

灌浆施工工艺依照技术要求进行。

五、检查性简易压水试验

本段灌浆完毕，待凝一定时间后，重新钻开，直至原灌浆段底部，再进行一次简易压

水试验，检查其经过灌浆后是否达到了设计规定的防渗要求，用以验证灌浆工艺的合理性和灌浆效果，以及检查灌注材料是否合宜。简易压水试验的压力值，仍采用本孔段的灌浆压力值，但不要超过1.5~2倍的坝前最大水深值。为简便计，仅做一个压力阶段即可。单位吸水量如符合要求，即可开始下一段的钻进，否则，仍需对该孔段进行第二次灌浆，直至经检查符合规定要求时为止。

以上系指一般灌浆试验情况而言。由于灌浆试验目的不同，有时可能对灌浆试验中的某一程序的内容有特殊要求，例如岩石裂隙中充填有较多粘土时，就要特别注意研究冲洗工作，是采用单孔冲洗，还是群孔冲洗，是否需要加用化学剂，采用多大压力，在几个钻孔相互串通情况下，应如何进行灌浆等，对这些问题所采取的试验与施工措施，在灌浆试验技术任务书中均应写明。

在灌浆试验施工时，还应注意岩石表面的变形观测。

在灌浆试验地段上，一般都设置地表抬动变形观测的装置，在灌浆前，灌浆过程中和灌浆后做地表抬动变形观测。

如果试验地段不在帷幕线上或不在需要固结的地区，则可根据灌浆设备的能力，做抬动变形试验，求出在不同深度下开始发生抬动变形的临界压力值，将来正式灌浆施工时所采用的最大允许压力应小于此临界压力，以保证岩层不因灌浆压力过大而产生变形。

如果试验地段是选在帷幕线上或是需要固结的地区，只有在设计和地质部门同意的情况下，才能做抬动变形试验。

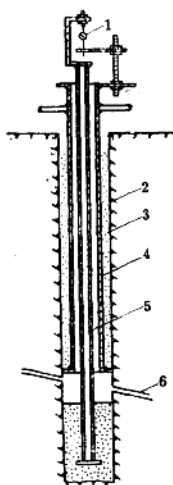


图 2-7 岩石抬动测量装置

1—百分表或千分表；2—钻孔；3—水泥浆或水泥砂浆；4— $\phi 2''$ 铁管；5— $\phi 1''$ 铁管；6—测杆

若试验地段上面已建成有建筑物，则更应特别注意，勿使用有招致建筑物发生抬动、破裂、变形等可能性的那种大的压力做灌浆试验。在这种地段进行灌浆试验时，必须正确地掌握压力和精确地观测变形，万一发生变形，应立即降低压力。

地表抬动变形的观测方法，常用的有下列两种：

(1)精密水准仪观测：灌浆试验地段的表层如果是砂砾石或土层时，在试验地段需钻设专门的变形观测孔，并使其深入到基岩以下，在孔内放置测杆，测杆的出露部分上附有刻度，在灌浆的升压过程中，使用精密水准仪进行观测。水准仪的设置地点应距灌浆试验地段尽可能的远些，避免由于观测孔的表层岩石与水准仪所在的位置都产生抬动，造成观测成果的混乱或假象。

如果灌浆试验地表是天然岩石或有已成的建筑物，则可选择固定点，在灌浆前、灌浆后以及灌浆过程中做标高的测量。

刘家峡大坝的第二灌浆试验地段，使用了上述的方法，做了岩层抬动观测，观测的精度可达0.25mm。试验结果，没有发现抬动变形。