

第一节 下部结构加固方法综述

桥梁的承载能力和能否正常使用,不仅取决于上部构造原设计荷载标准与完好程度,作为其重要的组成部分的下部构造,墩台和基础将直接承受上部构造的荷载(包括恒载和活载),并将荷载传递给地基受力,因此,桥梁的下部构造的质量好坏也直接影响其承载能力和正常使用,而且有的桥梁承载能力的降低和主要病害的产生是由于下部构造的病害所引起。因此,在桥梁加固改造工作中,对下部构造的加固改造亦是非常重要的,否则,就不能达到恢复和提高桥梁整体承载能力及正常使用的目的。

一、加固前提

桥梁下部构造的承载能力及能否正常使用,不仅与墩台本身的完好程度有关,而且往往涉及到基底土质与水文等诸多因素,尤其是基础部分,因为是隐蔽工程,多数处于水下,所以比较难以观察和判断。因此,对于桥梁的下部构造加固改造,无论是加固前的检测与病害原因分析、判断,还是具体的加固设计与加固方法,相对于上部构造来说难度都可能更大。所以,在针对具体的桥梁下部构造实施加固改造前,首先应在对现场检测资料分析与判断的基础上,确定下部构造是否具有加固改造的价值,然后从加固技术和施工工艺上分析能否实现加固改造目的。只有在具备加固改造价值,同时又能实施加固改造施工的下部构造,才能认为具有加固改造的前提。否则,根据墩台与基础在整个桥梁结构中的重要性,无论是从技术与安全上,还是经济上,都应考虑拆除桥梁,重建新桥方案。

二、应注意的问题

加固时应注意墩、台与基础的开裂、移动或转动。若发现应仔细分析其产生原因及影响。对于跨河桥梁,应检查基础的冲刷或淘刷、或河床的加深,并分析其对桥梁稳定性的可能影响,同时要考虑基础的埋置深度是否满足要求。对于桥梁,应考虑久经压实的桥梁地基土允许承载力的提高,以及桩底和周边土支承力及摩擦力的提高系数。应分别对墩、台及基础各部位进行强度、稳定性及裂缝宽度验算,并同时将已发现的病害考虑进去,然后评定其使用功能及承载力。对于墩、台及基础结构,如果技术状况特别差,难以加固改造,或加固改造的施工工艺复杂、把握性不大,且工程经费较大时,则不应考虑加固利用。

三、常见病害

下部结构常见病害表 9-1

公路桥梁墩台基础常见缺陷

表 9-1

基础类型		常见缺陷
浅基础	天然地基的浅基础	1.埋置深度浅,易受冲刷而淘空 2.埋置深度不足,受冻害影响 3.地基不稳定,易发生滑坡或倾斜
	岩石基础	1.基础置于风化石层上,风化部分未处理好,经水流冲刷而淘空或悬空 2.受地震的剪切作用,易产生裂缝
	人工地基基础	因处于软弱地基上,在竖向荷载作用下压实沉陷、基础下沉
桩	打木桩	地下水位下降时,桩身常腐蚀

基础	入桩	钢筋混凝土预制桩	1.打桩时，桩身损坏 2.受水冲刷、浸蚀产生空洞、剥落等 3.受船只或其他漂浮物的撞击而损伤
	钻(挖)孔桩		1.施工时桩底淤泥处理不彻底，引起桩基下沉 2.施工质量不好或受水冲刷、浸蚀而产生空洞、剥落、钢筋外露腐蚀等 3.灌注混凝土过程中发生塌孔而未作处理，桩身部分脱空 4.受外力撞击而损伤
	管桩基础		承载力不足基础下沉
沉井基础			1.地基下沉时，基础也常发生一些下沉 2.地基不均匀下沉或桥台台背高填土影响基础产生滑移、倾斜 3.中间层为弱粘土层时，由于附近施工挖基坑和填土等因素影响，常使基础变位

四、加固方法

公路桥梁下部结构常用的加固方法如表 9-2，具体内容见随后各节。

公路桥梁墩台基础常见加固对策小结

表 9-2

①基础加固对策	②桥墩加固技术	③桥台加固技术
扩大基础加固对策	钢筋混凝土套箍加固对策	台后加孔减载加固对策
增补桩基加固对策	水泥灌浆加固对策	台后增设拉杆、撑墙或挡土墙加固对策
水泥灌浆加固对策	化学灌浆加固对策	
钢筋混凝土套箍加固对策	加桩(柱)加固对策	钢筋混凝土围带或钢箍加固对策

第二节 扩大基础加固方法

扩大基础加固对策，即桥梁基础扩大底面积的加固方对策。此对策适用于基础承载力不足，或基础埋置太浅而墩台又是圬工实体式基础的情况。扩大基础底面积应由地基强度验算确定。当地基强度满足要求而病害仅仅表现为不均匀沉降变形过大时，采用扩大基础底面积的大不，主要根据地基变形计算来加以选定。在刚性实体式基础周围加石砌圬工或混凝土，以扩大基础的承载面积，如图 9-1 所示。

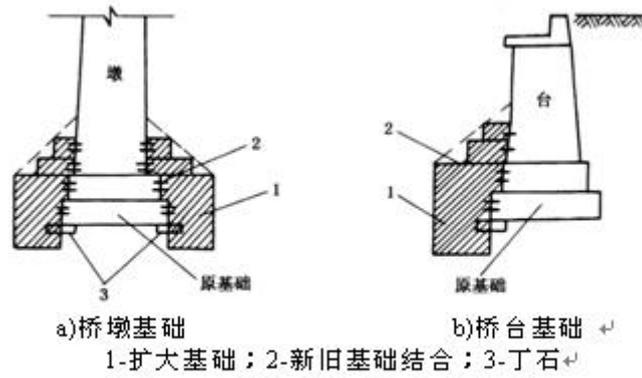


图 9-1 扩大基础加固对策示意

扩大基础加固时可按下列程序进行：

- 1) 在必须加宽的范围内打板桩围堰，若墩台基础土壤不好时，应作必要加固；
- 2) 挖出堰内土壤，直挖至必要的深度（注意开挖时墩台的安全）。
- 3) 在堰内把水抽干后，铺砌石块(浆砌)，或作混凝土基础。
- 4) 按照设计要求，在原墩台侧面钻孔并置入锚固钢筋，以使新老结构更好联结。
- 5) 立模，浇筑混凝土并养生至设计强度新老基础要注意结合牢固。

对于拱桥，可在桥台两侧加设钢筋混凝土实体耳墙，并将耳墙与原桥台用钢销联结起来，从而达到增大桥台基础面积，提高桥台承载力的目的。加固后耳墙与原桥台联结在一起，因此，既增加了竖向承压面积，又由于耳墙的自重而增加了抗水平推力的摩阻力，如图 9-2 所示。当拱桥拱脚前有一定的填土时，可在台前加建新的扩大基础，并将改建为变截面的拱肋支承到新基础上。新老基础之间用钢销进行联结，有条件时在台前新基础下设法增加短桩，以提高承载力，如图 9-3 所示。



图 9-2 拱桥桥台加设耳墙

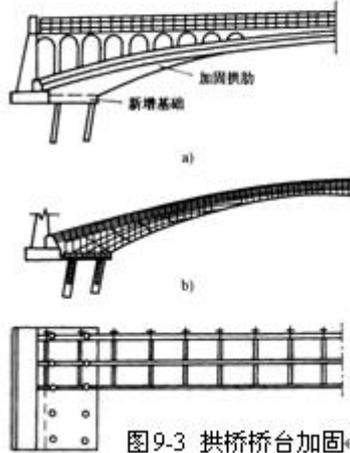


图 9-3 拱桥桥台加固

第三节 桩基础加固方法

在桩式基础的周围补加钻孔桩或打入预制桩或静压加桩，并扩大原承台，以此提高基础承载力、增加基础稳定性。如图 9-4 所示。

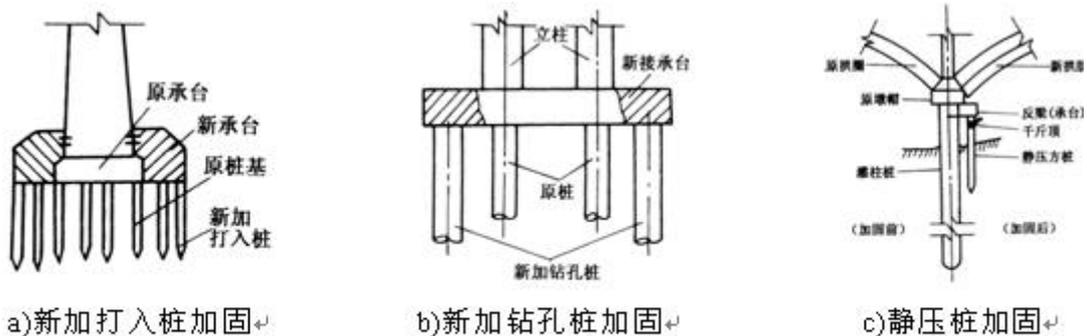


图 9-4 桩基础加固对策

对桩或基础可增设基础（钻孔桩或打入桩），扩大原承台，使墩台部分荷载传至新桩基。

对单排架桩式桥墩采用打桩（或灌注桩）加固，若原有桩距较大（4~5 倍桩径），可在桩间插桩。若原有桩距较小且通航净跨允许缩小时，可在原排架两侧增加桩数，成为三排式的墩桩。当在桩间加桩时，需凿除原盖梁并浇筑新盖梁，将新旧桩顶连结成一体。此时，要注意验原盖梁在加桩顶部能否承受与原来方向相反的弯距，如不能承受，则必须加固原有盖梁或重新浇筑盖梁。加固原有盖梁时，可在盖梁顶部增设钢筋。

当桥台垂直承载力不足时，一般可在台前增加一排桩并浇筑盖梁，以分担上部结构传来的压力。打桩(或钻孔灌注)时可利用原有桥面做脚手架，在桥面上开洞插桩。增浇的盖梁中单独受力，也可与旧桩联系起来，使新旧盖梁、新桩与旧桩共同受力。

对拱桥桥墩的加桩，由于受桥下净空影响也可采用静压加桩方法进行加固。

对于多跨拱桥，为预防因其中某一跨遭到破坏使整体失去平衡而引起其他拱跨的连锁破坏，可根据情况，对每隔若干拱跨中的一个支墩采取加固措施。其方法是在支墩两侧加斜向支撑；或加大该墩截面，使得一跨遭到破坏时，只影响若干拱跨而不致全部毁坏。

增补桩基加固墩台基础的优点是不需要抽水筑坝等水下施工作业，且加固效果显著。缺点是需搭设打桩架(或钻孔架)和开凿桥面，对桥头原有架空线路及陆上、水上交通均有一定的影响。

第四节 人工地基加固方法

当基础下面的天然地基松软，不能承受很大荷载，或上层土壤虽好，但深层土质不良引起基础沉降过大时，可对人工地基进行加固，以改善提高基础的承载能力。人工地基加固方法很多，最常用的有两种：

1) 砂桩加固（物理方法）。当软弱地基层较厚时，可用砂桩法改善地基的承载能力。施工时，将钢管或木桩打入基础周围的软弱土层中，然后将桩或管拔出，在形成的洞内灌入干燥的粗砂、砾砂，然后捣实，形成砂桩，达到提高地基土的密实度。在含水饱和的砂土或粘砂土中，由于易坍孔，灌砂困难，可采用砂浆袋套管法与振冲法来加固地基。

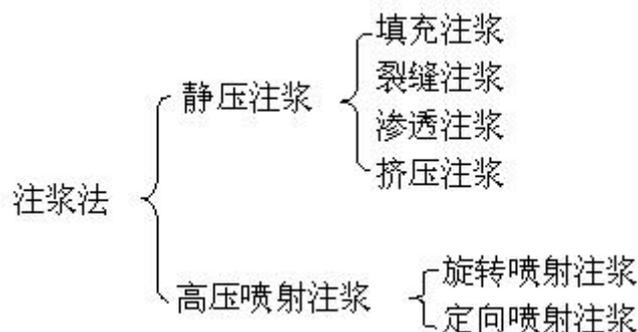
2) 注浆加固（化学方法），这也是本节的主要内容。

一、加固方法

在墩台基础之下，于墩台中心直向或斜向钻孔或打入管桩，通过孔眼及管孔，用一定压力把各种浆液（加固剂）灌入土层中，通过浆液凝固，把原来松散的土固结为有一定强度和防渗性能的整体，或把岩石裂缝堵塞起来，从而达到加固地基、提高地基承载力。注浆加固的作用按加固情况的不同主要有：

- 1) 填充圬工砌体里面的空隙，使其形成整体，从而提高砌体的强度；
- 2) 填充土壤或岩石的空洞和裂缝，若空洞大，应使用水泥砂浆；若为裂缝，应使用水泥浆，从而堵塞土壤或岩石的渗流孔道，提高其承压能力，减少渗流冲刷可能性；
- 3) 填充砂子和砾石的孔隙，提高其承压能力；
- 4) 挤密较软弱的土层，形成复合地基，使地基承载能力得到提高。

注浆法根据注浆压力的不同，可分为静压注浆和高压喷射注浆两大类，即：



二、材料要求

注浆加固时各种浆液材料的选择要求是：

- 1) 浆液应是真溶液而不是悬浊液，浆液粘度低，流动性好，能进入细小裂缝；
- 2) 浆液凝胶时间可在大范围内随意调节，易准确控制，浆液凝胶可在瞬间完成；
- 3) 浆液的稳定性好，在常温常压下，长期存放不改变性质，不发生任何化学反应；
- 4) 浆液无毒无嗅，对环境不污染，对人体无害，属非易爆物品；
- 5) 浆液对注浆设备、管路、混凝土结构物、橡胶制品无腐蚀性，并容易清洗；
- 6) 浆液固化时无收缩现象，固化后与岩石、混凝土等有一定粘接性；
- 7) 浆液结石体有一定抗压和抗拉强度，不龟裂，抗渗性能和防冲刷性能好；
- 8) 结石体耐老化性能好，能长期耐酸、碱、盐、生物细菌等腐蚀且不受温、湿度影响；
- 9) 材料来源丰富，价格低廉；浆液配制方便，操作容易。

加固墩台基础，所采用的方法和注浆材料一般因地质情况不同而异。静压注浆和高压喷射时不同浆液材料的地质适用范围如表 9-3 所示

注浆法适用土质范围

表 9-3

类别	注浆材料	卵石 碎石	粗粒组						细粒组	
			砾石			砂粒			粉粒	粘粒
			粗	中	细	粗	中	细		
静压 无机类	单液水泥浆	√	√	√	√	√				
	粘土水泥浆	√	√	√	√	√				
	水玻璃水泥浆	√	√	√	√	√				
	水玻璃水泥浆-氯化钙	√	√	√	√	√	√			

注浆		水玻璃类	√	√	√	√	√	√	√		
	有机类	铬木素类	√	√	√	√	√	√	√	√	
		丙烯酰胺类	√	√	√	√	√	√	√	√	
		脲醛树脂类	√	√	√	√	√	√	√		
		糖醛树脂类	√	√	√	√	√	√	√	√	
		聚氨脂类	√	√	√	√	√	√	√	√	
高压旋喷		纯水泥浆		√	√	√	√	√	√	√	
喷射定喷		纯水泥浆			√	√	√	√	√	√	

三、设计要点

注浆法适用于处理碱性土、粉性土、粘性土和一般填土层。注浆法旨在防渗堵漏、提高地基土的强度和变形模量，控制地层沉降。设计前应查明加固土层的分布范围及含水量、颗粒级配等土体物理力学性质指标。对重要工程，注浆设计前体须进行室内浆液配比试验。宜先进行现场注浆试验设计要点主要有：

1)设计前必须进行调查研究，设计时应包括下述内容：注浆有效范围、注浆材料的选择、初凝时间、注浆量和压力、注浆孔布置和注浆顺序等。

2)注浆工艺和有效范围应根据不同工程要求必须充分满足防渗堵漏，提高土体强度和模量、充填空隙及托换等目的加以确定。注浆点的覆盖土应大于 2m。

3)选定浆液及其配比的设计，必须考虑注浆的目的、地基土的孔隙大小、地下水的状态等，在满足所需目的的范围选定最佳配比。

4)注浆法处理软土的浆液材料可选用以水泥为主剂的悬浊液，也可选用水泥和水玻璃的双液型混合液。聚氨脂能有遇水膨胀的特性，化学浆液因对环境有污染，选用时应慎重考虑。在有地下动水流的情况下，不应采用单液水泥浆。

5)用作防渗的注浆至少应放置三排注浆孔，注浆液应选用水玻璃或水玻璃与水泥的混合液。注浆孔间距可按 1.0~1.5 m 范围设计。

6)用作提高土体强度的注浆液可选用以水泥为主剂的悬浊液，注浆孔间距可按 1.0~2.0m 的范围设计。

7)初凝时间必须根据地基土质条件初注浆目的决定。在砂土地基注浆中，一般使用的浆液初凝时间为 5~20 分钟。在粘性土中劈裂注浆时，一般初凝时间为 1~2 小时。

8)注浆量取决于地基土性质和浆液的渗透性等因素。在进行大规模注浆施工时，在进行大规模注浆施工时，宜在施工现场进行试验性注浆以决定注浆量。一般粘性土地基中的浆液灌注入率为 15%~20%。

9)在砂性土中注浆。若以防渗为主要目的，应考虑第二次注浆。其时间宜在第一次注入的水泥浆初凝后进行。注浆材料应采用水玻璃等低粘度的化学注浆材料。

10)劈裂注浆时，浆液注浆的范围内应尽量减少注浆压力。注浆压力的选用根据土层的性质及埋深确定。砂性土的经验数位是 0.2~0.5MPa；粘性土的经验数位是 0.2~0.3MPa。

11)压密注浆的注浆压力主要取决于浆液材料的稠度。如采用水泥的砂浆液，坍落度可在 25~75mm 左右，注浆压力可选在 1~7 MPa 范围内,而且坍落度较小时，

注浆压力可取上限值.如采用水泥—水玻璃双液快凝浆液,则注浆压力应小于 1 MPa。

12)注浆孔的布置,应能使被动固土体在平面的深度范围连成一个整体。

13)注浆顺序必须适合于地基土质条件,现场环境及注浆目的,一般不宜采用自注浆地带某一端单向推进压注方式,应按跳孔间隔注浆方式进行,以防止串浆,提高注浆孔内浆液的强度与时具增的约束性。对有地下水流体的特殊情况,应考虑浆液在动水流下的迁移效应,应自水头高的一端开始注浆。

14)应采用先外围,后内部的注浆施工方式。注浆范围外有边界约束条件时,也可采用自内侧开始往外侧注浆方法。

四、施工要点

注浆加固的施工程序可简单地描述为:放样→钻孔→下注浆管→制浆→灌浆→换粘土浆→灌浆(分段,重复进行)→结束。施工要点有以下内容:

1)加固前必须确定具体的实施方案,工作内容包括灌浆孔的布置,灌浆加固深度,采用何种浆液(包括浆液配比)等。

2)编制施工大纲,确定施工人员组织及施工机具,举例见表 9-4、9-5。

注浆加人员配备

表 9-4

班 组	人 数	职 责
技校组	2	项目总体管理, 施工安排、协调、质量监督、资料汇总
施工队长	1	施工人员管理
技术员	2	现场技术控制, 安排实施技术组意见
钻工	8	钻进成孔、灌注浆液
灌浆组	14	搅拌浆液、灌注浆液
电工	1	现场用电管理
电焊工(兼)	1	电 焊

设备名称	单 位	数 量	用 途
钻机	台	2	成 孔
联合搅浆机	台	1	搅 拌
单筒搅浆机	台	2	储备、搅拌浆液
双筒搅浆机	台	1	储备、搅拌浆液
灌浆泵	台	4	灌注浆注
电焊机	台	1	维修设备、加工箱具
附属设备	套	1	

注浆加固机具配备

表 9-5

3)放样:根据施工组织设计的平面布置图放样,确定具体孔位。

4)造孔:先找到孔位,把钻机移到所钻孔位置,经检测复核后方可开钻。钻进过程中遇到异常情况,必须查明原因,及时采取处理措施,并作详细记录。钻孔结束后,由技术员对孔位、孔号、孔深等进行质量检查,验收合格后方可钻进下一个孔。

5) 下注浆管：下管前，要检查钻孔深度是否达到要求，待下管深度达到设计要求，经技术人员认可后方可下注浆管。下管过程中若遇特殊情况，如孔内阻塞、塌孔等，立即停止下管，将注浆管提出地面，重新清孔，处理完毕后再重新下管。

6 制浆：按设计相对密度拌制浆液。制浆过程中随时测量浆液相对密度，及时调整水泥用量，一个孔的灌浆结束后，统计该孔材料用量，并核实是否符合技术要求。

7) 灌浆—灌浆段设置：在每孔灌浆段总长上，每隔一定距离设一注浆段。

8) 灌浆—注浆控制：可采取多次灌注方法，每次灌注量及浆液相对密度应严格控制。

9) 灌浆—灌浆结束标准：可采用每个灌浆段灌浆总量及孔口压力两个标准来控制。

五、质量检验

1、水泥浆液注浆法的施工质量检测：

1) 对注浆效果的检查，应根据设计提出的要求进行，检验时间在注浆结束 28 天后。可选用标准贯入和静力触探对加固地层进行检测。

2) 注浆效果检测点一般为注浆孔数的 2%~5%，如检验点不合格率等于或大于 20%，或虽小于 20%，但检验点的平均值达不到设计要求时，在确认设计原则正确后应对不合格的注浆区实施重复注浆。检测点位置应视检测方法和现场条件由施工单位和设计单位协商决定。

2、化学浆液注浆法的施工质量检测：

1) 硅化地基的验收：砂土和黄土应在施工完毕 15 天后进行，粘性土应在 60 天后进行。

2) 砂土硅化后的强度，应取试块作无侧限压试验，其值不得低于设计强度的 90%。粘性土硅化后，应按加固前后沉降观测的变化，或使用触探测加固前后土中阻力的变化以确定质量。黄土硅化后的质量可视具体化情况，采用上述两种方法之一进行检验。地基硅化后的整体性和外形，均可采用触探检验。

3) 用硅化法形成的防渗帷幕，应在作压水试验检查不透水性，检验单位吸水率。

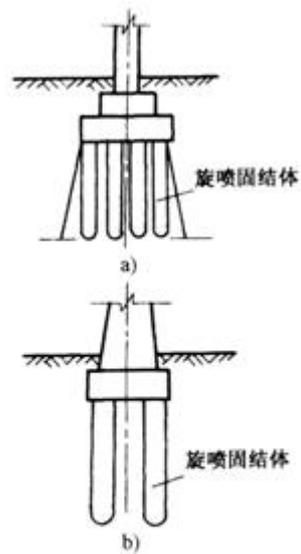
4) 硅化地基验收时，应提交的资料有施工记录，材料的试验记录，试块试验记录，防渗帷幕的渗透观测和水位变化记录，触探法测定阻力变化记录，竣工剖面图和钻孔位置平面图等。

第五节 旋喷注浆加固技术

旋喷注浆加固法是一项正在发展中的地基加固技术，应用时间并不长，但由于用途广泛，加固地基的质量可靠而且效果好，故目前已逐渐成为我国常用的地基处理方法之一。该法除了在铁路、矿山、水电、市政工程、工业与民用建筑和国防等部门的地基加固工程中发挥了卓有成效的作用外，近年来，在公路工程、特别是桥梁基础加固工程中，得到了一定的实践应用，获得了显著的经济技术效果。

旋喷注浆加固法是利用地质钻机，将旋喷注浆管置于预计的地基加固深度，借助注浆管的旋转和提升运动，用一定的压力从喷嘴中喷射液流，冲击土体，把土和浆液搅拌成混合体，随后凝

聚固结，形成一种新的有一定强度的人工地基，如图 9-5 所示。



上图：群桩基础

下图：承台基础

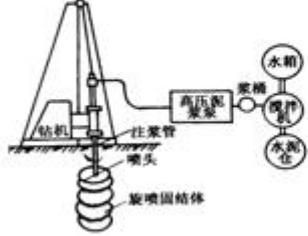
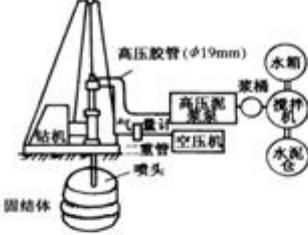
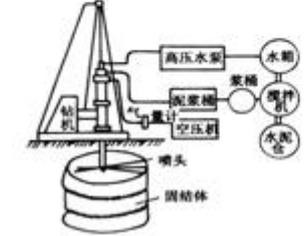
图 9-5 旋喷注浆加固

一、工艺类型

旋喷注浆加固法工艺类型有单管旋喷注浆法、二重管旋喷注浆法和三重管旋喷注浆法，详见表 9-6。

旋喷注浆法的工艺类型

表 9-6

工艺类型	示意简图	说明
单管旋喷注浆法		<p>注浆管钻进至一定深度后，由高压泥浆泵等高压发生装置，以一定的压力，将浆液入喷嘴中喷射出去冲击破坏土体，同时使浆液与土搅拌混合，在土中形成圆柱状的固结体。</p>
二重管旋喷注浆法		<p>使用双通道的二重注浆管，当注浆管钻进至预定深度后，通过双重喷嘴，同时喷射出高压浆液和空气两种介质的喷射流冲击破坏土体。</p>
三重管旋喷注浆法		<p>分别使用输送水、气、浆三种介质的三重注浆管。由此可在土中凝固为直径较大的圆柱状固结体。</p>

二、设计要点

旋喷注浆加固桥梁墩台基础时，与其他加固对策情况相同，原有桥梁的全部重量都是已压在原有地基上的。地基是在承受着构筑物已有全部重量的情况下进行加固施工的。因此，若被加固的桥梁构筑物没有受到新的荷载作用，旋喷固结体最初是几乎不受力的。只是由于时间的推移，原有地层的恒压力的作用下，土体产生徐变或滑移，使原土体承受的部分压力转移到刚性较大的旋喷固结体上。但这种转移是不大的。因此，只有构筑物新增加荷载时，才为旋喷固结体所承受。用旋喷注浆法加固后的地基，具有下列特点：固结体原土层共同受力；固结体的形变模量较土层大很多倍；固结体和土体的受力在时间上不同步，一般是土体已达到或接近其极限强度以后，固结体才进入工作状态。综合起来，旋喷注浆加固的设计要点有三点：

1) 对加固前墩台基础的承载能力进行估算。

墩台基础加固，大体上可分为两种情况：一种是构筑物正在建造或运用过程中，基础发生较大的均匀或不均匀下沉，已危及桥梁结构的正常使用。另一种是目前使用状态良好，但考虑到桥梁要通过更大载重的车辆，地基承载力不能满足进一步发展的需要。两种情况对原有地基的极限承载力的估算方法是有所不同的：

(1) 对目前已不能满足使用要求的桥梁构筑物地基承载力能力进行估算。对已发生病害的

墩台基础在加固前，除收集有关工程设计所必须的各项资料外，还应对工程的病害历史和现状进行调查分析。根据病害发生、发展的程度，推算出现有地基的承载能力。

(2) 对于目前没有病害，仅为提高荷载等级而需要加固的地基，地基承载能力有两种方法确定：一种是按地质钻探或土工试验所给出的土体极限强度 σ_0 ；一种是依据规范提出的“经过多次压实、未受破坏的旧地基”其允许承载力可给予提高(提高系数为 1.25~1.5)的方法确定。

2) 对危及正常使用的墩台基础的设计计算。

3) 对旋喷法加固未发生病害而为提高荷载等级的墩台基础的设计计算。

三、施工要点

1、施工流程

旋喷注浆施工流程可概括为钻机就位、钻孔、插管、旋喷作业、冲浇等五道工序，详见图 9-6。

2、方法选择

高压喷射注浆设备可根据工程具体情况和机具条件，加固时可选用：

(1)单管法：单独喷射水泥浆液,桩径可达 0.3~0.8m。

(2)双管法：同轴喷射水泥浆液的压缩空气，桩径可达 1m。

(3)三重管法：同轴喷射高压水和压缩空气，并注入水泥浆,桩径可达 1~1.5m。

上述三种旋喷施工的主要机具及参数见表 9-7。

三种旋喷法主要机具和施工参数

表 9-7

项 目		单管法	双管法	三重管法
喷咀孔径(mm)		2~3	2~3	2~3
喷咀个数(个)		2	1~2	1~2
旋转速度(r/min)		20	10	5~15
提升速度(mm/min)		200~250	100	50~150
高压泵	压力(kg/cm ²)	200~400	200~400	200~400
	流量(L/min)	60~120	60~120	60~120
空压机	压力(kg/cm ²)	-	7	7
	流量(L/min)	-	1~3	1~3
泥浆泵	压力(kg/cm ²)	-	-	30~50
	流量(L/min)	-	-	100~150

3、操作要点

1) 施工前根据现场环境和地下埋设物的位置等情况，复核旋喷注浆的设计孔位。

2) 旋喷注浆法的单管法及双管法的高压水泥浆液流和三重管法高压水射流的压力宜大于 20MPa，三重管法使用的低压水泥浆液流压力宜大于 1MPa，气流压力宜取 0.7MPa，提升速度可取 0.1~0.25 米/分钟。

3) 旋喷注浆法的主要材料为水泥，对无特殊要求的工程，宜采用 325 号或 425 号普通硅酸盐水泥。根据需要可加入适量的速凝、悬浮或防冻等外加剂为掺合料。所用外加剂和掺合料的数量，应通过试验确定。

4) 水泥浆液的水灰比应按工程要求确定，可取 1.0~1.5，常取 1.0；水泥使用前需要作

质量鉴定。搅拌水泥浆所用的水，应符合有关规定；

5) 钻机与高压注浆泵的距离不宜过远。钻孔的位置与设计位置的偏差不得大于 50mm。实际孔位、孔深和每个钻孔内的地下障碍物、洞穴、漏水如与工程地质报告不符等情况均就详细记录。

6) 当注浆管贯入土中，喷咀达到设计标高时，即可喷射注浆。在喷射注浆参数达到规定值后，随即旋喷、提升注浆管、由下而上喷射注浆。注浆管分段提升的搭接长度不得小于 100mm。

7) 对需要扩大加固范围或提高强度的工程，可采用复喷措施。

8) 在旋喷注浆过程中如实记录旋喷注浆的各项参数和异常现象，出现压力骤然下降、上升或大量冒浆等异常情况时，应查明产生的原因并及时采取措施。

9) 当高压喷射注浆完毕，应迅速拔出注浆管。为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程，必要时可在原孔位采用冒浆回灌或第二次注浆等措施。

10) 当处理既有构筑物地基时，应采取速凝浆液或大间距隔孔旋喷和冒浆回灌等措施，以防旋喷过程中地基产生附加变形和地基与基础间出现脱空现象，影响被加固工程及邻近建筑。同时，应对构筑物进行沉降观测。

四、质量检验

旋喷注浆加固的质量检验可采用开挖检查、钻孔取芯、标准贯入、载荷试验或压水试验等方法进行。

1、检验点的布置部位

- 1) 荷载大的部位；
- 2) 中心线上；
- 3) 施工过程中出现异常情况的部位；
- 4) 地质情况复杂部位。

2、检验点的数量

为施工注浆孔数的 2%~5%，对不足 20 孔的工程，至少应检验 2 个点。

3、检验的时间

质量检验应在旋喷注浆结束 4 周后进行，不合格的应进行部补喷。

4、检验的内容

- 1) 桩体平均直径；
- 2) 桩体垂直度；
- 3) 桩身中心允许偏差(0.2 倍设计桩径)；
- 4) 均匀性

五、应用实例

旋喷注浆加固桥梁墩台基础，近年来已得到一定的实践应用，如湖南怀化机车走行线的公路立交跨线桥、四川大渡河公路桥、阜淮线戴家湖铁路桥、日本名古屋崎川桥等工程，均取得了良好的加固效果。各工程加固措施和效果见表 9-8。

旋喷注浆加固对策的应用实例

表 9-8

工程名称	说 明
怀化铁路机车走行线公路立交跨线桥	该桥为 U 型桥台，台高 9.8m，1978 年底建成并架设主梁铺设桥面。1979 年 8 月进行台背填土。当填土达 3m 时，发现北台严重下沉，台后左角下沉 112mm，右角下沉 106mm。桥台后倾，桥面伸缩缝增大，影响结构正常使用。加固时采用旋喷法，根据计算用 20 根旋喷直径达 46cm 的旋喷桩柱。本桥台自 1981 年 6 月完工后通车，一直未有下沉现象，使用正常，实践表明旋喷法加固是成功的
阜淮线戴家	该桥两台为扩大基础，自 1980 年建成后，尚未架梁即发生较大下沉和位移。加固时南北两台分别采用 40 和 38 根旋喷桩，长为 8.3m 和 7.5m，设计直径为 50cm。加固后仅 10 天便

湖铁路桥	进行架梁，投入使用后均未见有下沉现象，加固效果良好。
日本名古屋 神崎川桥 桥墩下沉处理	该桥由于桥址受纸厂废液冲刷，基础摩擦力减少，使桥墩发生不均匀下沉。 加固方案：在桥墩周围作旋喷，由于桥址离海口较近，河道流速小，采用单排旋喷固结体帷幕，在帷幕内，采用化学灌浆达到了增加地基强度的目的。

旋喷注浆加固的优缺点见表 9-9。

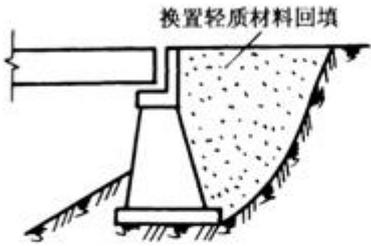
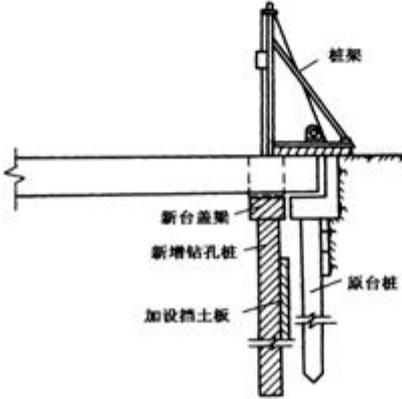
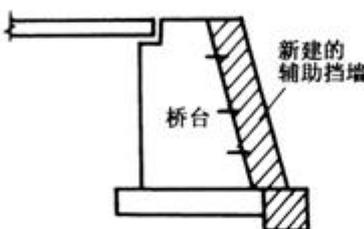
旋喷注浆加固对策的主要特征

表 9-9

主要特征	说 明
适用范围广	能以高压喷射流直接破坏加固土体，固结体的质量提高，适用范围较大。既可用于工程新建之前，又可用于工程修建之中，特别是用于工程落成之后。
施工简便	旋喷施工时，只需在土层中钻一个孔径为 50mm 或 108mm 的小孔，便可在土中喷射成直径为 0.4-2.0m 的固结体。
固结体形状可控制	为满足工程需要，在旋喷过程中，可调整旋转速度和提升速度，增减喷射压力或更换喷嘴口径改变流量，使固结体成为设计所需要的形状。
确保固结体的强度	根据采用不同的浆液种类和配方，即可获得所需的固结体强度。
有较好耐久性	在一般的软弱地基中加固，和其他工艺相比，因其加固结构和适用范围不同，加固效果虽不能一概而论，但从使用的浆液性质来看，能预期得到稳定的加固效果并有较好的耐久性能。
材料来源广价格较低廉	喷射的浆液以水泥为主，化学材料为辅。除在要求速凝超早强时使用化学材料以外，一般的地基工程中均使用料源较广、价格低廉的 32.5 号或 42.5 号普通硅酸盐水泥。此外，还可在水泥中加入一定数量的粉煤灰，既利用了废料，又降低了注浆材料的成本。
设备简单管理方便	旋喷的全套设备均为我国定型产品或专门设计制造的。结构紧凑、体积小、机动性强，占地少，能在狭窄和低矮的现场施工。 施工管理简便，在旋喷过程中，通过对喷射的压力、吸浆量和冒浆情况的量测，即可间接地了解旋喷的效果和存在的问题，以便及时调整旋喷参数或改变工艺，保证固结质量。

第六节 桥台加固方法

桥台加固的方法比较多，主要有减轻桥台台背荷载加固法、加柱（桩）加固法、台身加厚法、增加支撑梁加固法等，详见表 9-10。

对策	简图	说明
减轻荷载加固	 <p>该图展示了桥台背部的加固措施。图中显示了一个桥台的横截面，其后方填土区域被标注为“换置轻质材料回填”。</p>	<p>该对策在台背上压力大，桥台有向桥孔方向位移时采用。挖出台背填土后，改换轻质材料回填，减轻桥台台背的负荷，以使桥台稳定。</p>
加柱加固	 <p>该图展示了在桥台前增加一排桩并浇筑盖梁的加固措施。图中显示了“原台桩”、“新增钻孔桩”、“加设挡土板”以及“新台盖梁”和“桩架”。</p>	<p>该对策在在原桥竖向承载力不足时采用。一般可在台前增加一排桩，并浇筑盖梁，以分担上部结构传来的压力。打桩或钻孔桩时可利用原桥面作脚手，在桥面开洞、插桩。盖梁可单独受力，并可联结旧盖梁、旧桩共同受力。</p>
增厚台身加固	 <p>该图展示了加厚桥台台身的加固措施。图中显示了一个桥台的横截面，其后方填土区域被标注为“新建的辅助挡墙”，桥台本身被标注为“桥台”。</p>	<p>该对策在梁式桥台背土压力大，桥台向桥孔方向位移时采用。可挖去台背填土，加厚台身（桥台胸墙），并注意新旧混凝土结合牢固。</p>
支撑过梁加固	 <p>该图展示了在两桥台基础之间建造支撑过梁的加固措施。图中显示了一个桥台的横截面，其下方被标注为“支撑过梁”。</p>	<p>该对策主要应用于单跨的小跨径桥梁。可在两桥台基础之间建造支撑过梁，以防桥台向跨中位移。如采用钢筋混凝土支承梁或浆砌片石撑板加固，支撑不高于河床。</p>

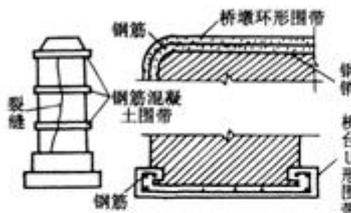
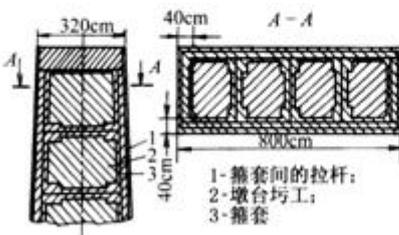
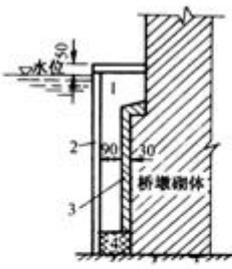
对策	简图	说明
挡墙 支撑杆 或挡块 加固		<p>该对策适用于因尺寸不足，难以承受台背上压力而向桥孔方向倾斜或滑移的埋置式桥台。可采用挡墙、支撑杆或挡块等形式进行加固。临时抢修亦可用土袋使桥台稳定。</p>
更换台后填土并加设便梁加固		<p>为减轻路基对桥台的水平压力，需用具有大的内摩擦角的大颗粒土壤或干砌片石、砖石等更换桥台后面填土，同时在台后新增架设便梁。</p>

第七节 桥墩加固方法

相对桥台加固，桥墩的加固方法不太多，主要有围带加固法、钢筋混凝土套箍加固法等，详见表 9-11。

公路桥梁桥墩常用加固对策

表 9-11

对策	简图	说明
围带加固		墩身发生纵向贯通裂缝，可用钢筋混凝土或钢箍进行加固。如因基础不均匀下沉引起自下而上的裂缝，则应先加固基础，后再采用灌缝或加箍的方法进行加固。
钢筋混凝土套箍加固		墩台损坏严重（如大面积裂缝、破损、风化、剥落）或由粗石圯工及砌石圯工的旧墩台，一般可用钢筋混凝土“箍套”加固，其尺寸应能满足通过箍套传递所有荷载或大部分荷载的需要。同时，再改造墩台顶部，灌筑支承于箍套上新的、强大的钢筋混凝土板代替旧的支承垫石，以使箍套参加工作。
桥墩损坏水下修补加固		<p>砖石或钢筋混凝土墩台表层出现缺陷，且墩台身处于常水位下时，可分别根据不同情况采用如下加固方法：</p> <p>①水深在 3m 以下时，可筑草袋围堰，然后将水抽干。当水难以抽干时则可浇水下混凝土封底后再抽，抽水后以砌石或混凝土填补冲空部位。此种情况的修补，亦可不抽水而将钢筋混凝土薄壁套箱围堰下沉到损坏处附近河底，在套箱与桥墩间浇筑水下混凝土以包裹损坏或冲空部位。</p> <p>②水深在 3m 以上时，以麻袋装干硬性混凝土，然后通过潜水作业将袋装混凝土分层填塞冲空部位，并应注意要比原基础宽出 0.2~0.4m。</p>