

第一章 中小型水电站水工建筑物的运行与维护

建国以来，水利水电建设取得了巨大的成就。水工建筑物星罗棋布，在抗御水旱灾害、夺取农业丰收，保证电力供应，促进国民经济发展等项工作中，发挥了很大的作用。

水工建筑物在自然条件的作用下，承受各种作用力，其工作状态随时都在发生变化，特别是由于水的作用，使其工作性态复杂化。如运行管理不当，加之设计和施工不够完善，就容易出现异常情况，甚至引起失事，造成损失。为了充分利用水力资源，发挥工程效益，延长建筑物的使用年限，确保机电设备的长期正常运行，搞好水工建筑物的运行与维护是非常必要的。

第一节 挡水建筑物的运行与维护

挡水建筑物用以拦截水流，形成水库，抬高水位，是水利枢纽的主要水工建筑物。它由堰、坝、闸等组成。它的正常与否直接影响到其它建筑物的正常运行，甚至造成人民财产的巨大损失。因此，我们在运行管理过程中应严格按操作规程操作，并进行必要的定期检查和观察，一旦发现问题应立即进行维护或采取其它的相应措施。

一、土坝的运行管理与维护

根据水库的管理经验，土坝在运行过程中容易出现以下几个方面的问题：坝体裂缝；坝体、坝基及绕坝渗流；坝坡滑动；坝体沉陷和自然条件对坝面造成的破坏等。因此，在运行管理过程中应特别注意这几个问题。

1. 土坝的裂缝观测

土坝的裂缝是一种较为常见的有害现象。有的从坝体外观就可以看到，有的则潜藏于坝体内部不为所见。有的裂缝对坝体没多大影响，而有的裂缝则潜伏着巨大危险。如细小的坝体横向裂缝，在渗透水作用下有可能发展成为坝体的集中渗漏水的通道；而有的纵向裂缝，也许是坝坡滑动的预兆。

土坝的裂缝按部位分有表面裂缝，内部裂缝；按走向又可分为横向裂缝，纵向裂缝，水平龟纹裂缝；按成因则可分为沉陷裂缝，滑坡裂缝，干缩裂缝，振动裂缝。当发现后应立即观察，详尽记录。对平行于坝轴线的裂缝看是否有滑坡的现象；对垂直于坝轴线的裂缝注意是否有形成贯穿上、下游而形成渗漏通道的可能，并对裂缝进行保护，防止雨水的侵入及其它人为的践踏，并应阻止裂缝的扩展。同时还应采取必要的量测，记述裂缝的位置、走向、长度、宽度和深度，绘出裂缝分布图，供分析用。

2. 土坝的维护

(1) 裂缝的原因分析 裂缝的种类很多，开裂的原因不尽相同，其危害也不尽相同，正确分析裂缝的成因及发生的部位，对不同的裂缝采取不同的相应措施，这在运行管

理中是非常必要的。土坝的裂缝成因，主要是由于坝基承载能力的不均一，坝体施工质量差，坝体结构及断面尺寸设计不当或其它因素引起，有的裂缝是由于单一的原因引起，有的则是多种因素造成的。

1) 干缩与冻融裂缝。干缩裂缝是由于土体表面失水发生收缩，土体内部收缩甚微，表面土体受到约束，发生拉应力，而形成的裂缝。这种裂缝多发生于含水量较高、薄膜水较厚的细沙土体且仅限于表层。如均质坝、粘土心墙斜墙的表层，这种裂缝宽不超过1cm，深度几厘米到1m左右。从工程角度看，除了要防止雨水渗入缝中发生冲蚀外，一般来说，这种裂缝对土石坝危害不大。

冻融裂缝同样也是容易发生于含水量较高的细粒土体中。它是当土体冻结、气温又骤降时，表层冻土发生收缩，但又受到内部未降温土体的约束而在表层发生的裂缝。这种裂缝的范围仅限于冰冻范围。随着气温的回升，冻土的融化，裂缝一般能自行闭合。所以，这种裂缝对坝的威胁也不大，只要在易冻裂土体上覆盖有足够厚度的非粘性土作为防冻层即可防止发生冻裂。

2) 纵向裂缝。纵向裂缝多数出现于坝顶及坝上、下游坝坡，其走向平行于坝轴线。这种裂缝主要是由于横向不均匀沉降的结果。比较典型的是粘土心墙坝顶附近的裂缝，如图1-1所示。这是由于坝壳砂砾料沉降速度比墙快，在沉降过程中，坝壳通过交界面上的剪力向心墙传递荷载，在坝顶部位产生一个拉伸区的结果。这种裂缝有突发的性质，形成裂缝后，应力释放，达到新的平衡，除非坝壳有很大的变形，一般不会连续发展。这种裂缝多数发生在施工后期、竣工期以及水库蓄水初期坝壳发生较大沉陷的时期。这种裂缝与筑坝材料的变形性能密切相关。

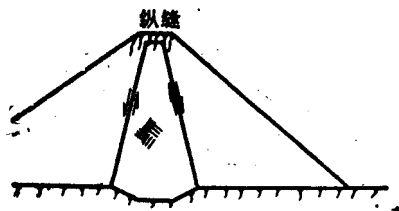


图 1-1 心墙坝纵缝示意图

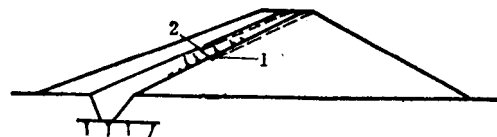


图 1-2 斜墙纵缝
1—斜墙沉降；2—纵缝

当粘土斜墙后的坝体沉降量过大时，则在斜墙中也可能发生裂缝，如图1-2所示。

对于未经处理的深厚黄土地基，当水库蓄水后，其上游部分先沉陷，下游后沉陷，地基不均匀沉陷引起坝体出现纵向裂缝。黄土地基上的坝，中间部分因荷载大，填筑时压缩变形大，相对湿度变形小，故上下游坝基湿陷量反比中间大，致使坝坡产生纵向裂缝，如图1-3所示。

在高压缩性的地基上建坝，由于地基的不均匀沉陷及两侧的塑性流动，不仅会引起坝坡表面的纵缝产生，还可能产生于坝内表面的纵缝，如图1-4所示。

3) 横向裂缝。其走向是垂直于坝轴线的，也是一种拉伸缝，是由于在坝轴线处不均匀沉降而引起的向河心方向的水平位移。

在坝的纵剖面，一些局部地形变化或刚性建筑物而引起的不均匀沉降，也可能使坝产



图 1-3 黄土地基不均匀湿陷引起的纵缝
1—黄土湿陷；2—纵缝

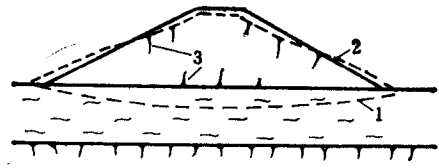


图 1-4 高压缩性地基不均匀沉陷引起的纵缝
1—地基沉陷；2—坝体变形；3—纵缝

生局部拉伸区并产生横缝。横缝的危害性极大，若贯穿坝的防渗体，特别是位于河床、坝高较大的坝段中的横缝及位于坝底的横缝，当裂缝伸至水位以下时有可能产生渗漏集中的通道，导致险情的发生。可能发生横缝的各种情况，如图1-5所示。

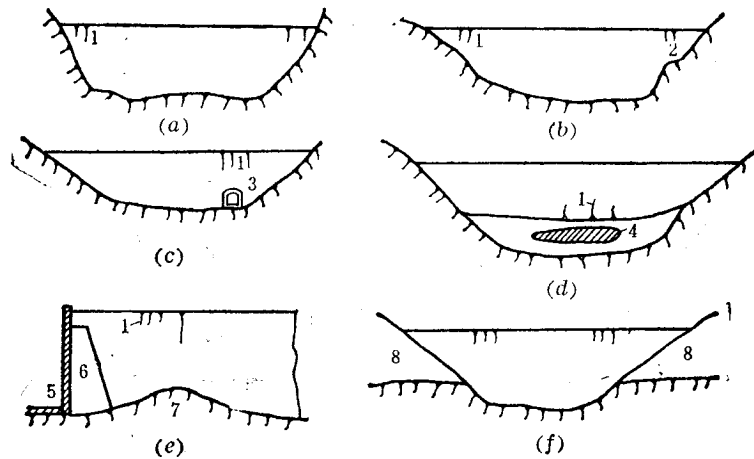


图 1-5 可能发生横缝的各种情况示意图
(a)岸坡陡峻；(b)岸坡陡变；(c)坝下埋管；(d)地基中有高压缩性土；(e)岩盘高差较大；(f)两岸为湿陷性黄土
1—横缝；2—台阶；3—埋管；4—高压缩性土；5—溢洪道导墙；6—刺墙；7—岩面突起；8—湿陷性黄土

4) 水平裂缝。通常发生于粘土薄心墙坝中，是一种内部裂缝。这种裂缝深潜于坝体内部，一般较难发现，是一种危害较大的裂缝，所以应予以重视。

发生水平裂缝的原因是坝壳心墙的拱效应，非粘性土沉降快，较早到达稳定，而粘土则固结速度慢，较长一段时间内将继续发生沉降。坝壳通过心墙接触面上的摩擦力阻止心墙的沉降，或者说心墙将部分荷载传递到坝壳，这就是坝壳对心墙的拱效应。拱效应的作用使心墙中的垂直正应力减小，如作用剧烈，则有可能出现拉应力，出现水平裂缝，如图1-6所示。

(2) 土坝的裂缝处理 各种裂缝对土坝都有一定的不利影响，尤以贯穿坝体的横向裂缝和水平裂缝更为严重，一旦发

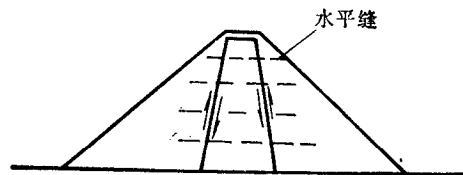


图 1-6 拱效应图

现后除继续观测和监视外，应及时地进行处理，以免造成不良的后果。

裂缝的处理通常采用开挖回填和灌浆两种方法或该两种方法结合使用。

1) 开挖回填。是处理裂缝比较彻底的方法，适用于裂缝不大的表层裂缝及防渗部位的裂缝。开挖回填的处理方法有三种： 梯形楔入法：适用于裂缝不太深的非防渗部位，见图 1-7(a) 所示； 梯形加盖法：适用于裂缝不太深的防渗斜墙及均质土坝迎水坡的裂缝，见图 1-7(b) 所示； 梯形十字法：适用于处理坝体或坝端的横向裂缝，如图 1-7(c) 所示。

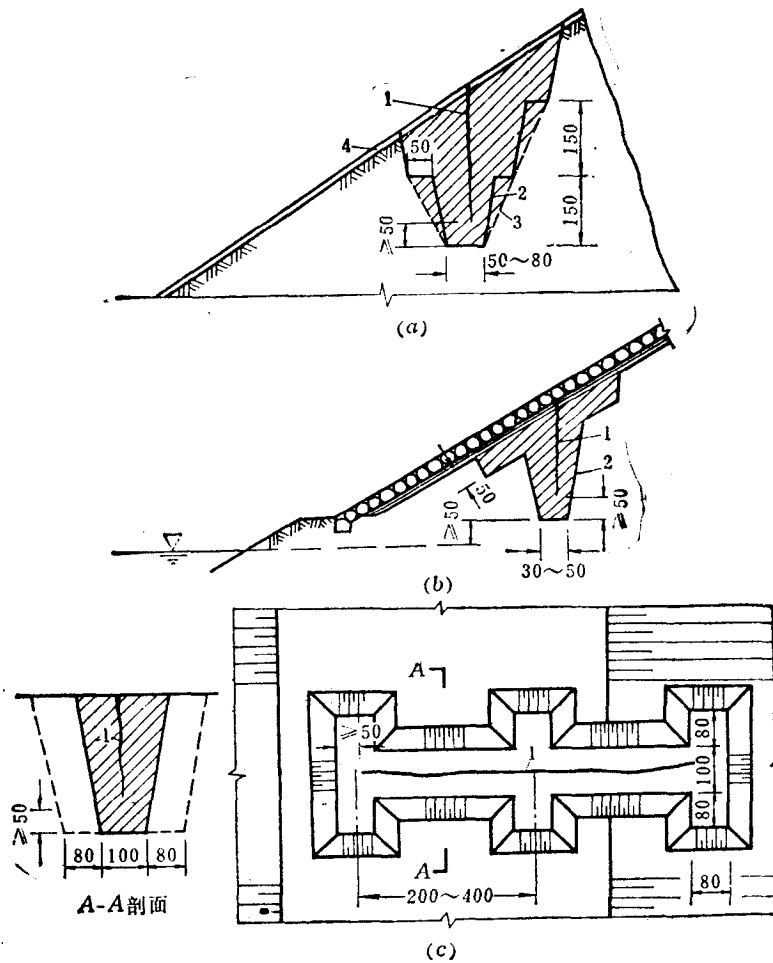


图 1-7 开挖回填处理裂缝示意图 (单位: cm)

(a) 梯形楔入法; (b) 梯形加盖法; (c) 梯形十字法
1—裂缝; 2—开挖线; 3—回填时削坡线; 4—草皮护坡

具体的做法：开挖梯形沟槽，为便于裂缝的走向检查，开挖前灌入少量的石灰水，以利于掌握开挖边界，开挖时底部宽度至少应为 0.5m，深度则要大于原裂缝 0.5m，长度要超过缝两端 1 m 以上。开挖的边坡应满足边坡稳定及新旧填土结合的要求。然后根据具体情况选择回填土料，按原来的密实度要求分层夯实。处理沉陷裂缝所用的土料应选用塑性

较大的土料，控制其含水量大于最优含水量的 $1\% \sim 2\%$ ；用于干缩和冻融裂缝的土料其含水量则要求低于最优含水量的 $1\% \sim 2\%$ 。

2) 灌浆。对坝内裂缝，非滑动性的很深的表面裂缝，当开挖困难或开挖危及坝坡的安全时，可采用粘土灌浆处理。通常采用重力灌浆和压力灌浆的方法。重力灌浆是以浆自重灌入裂缝；压力灌浆法除浆液自重外再加机械压力，使浆液在较大的压力作用下，灌入裂缝。灌注的浆液主要是土泥浆。在处理浸润线以下部分裂纹时，掺入一部分水泥，制成粘土水泥浆，以加速凝固。

根据一些灌浆试验结果表明：灌浆液对裂缝具有很高的充填能力，不论裂缝的大小都能与缝壁紧密地结合。所以，这是一种比较理想的处理方法。当然，要想取得良好的效果，还应当注意灌浆孔的布置及浆液的配制。同时，还应合理地控制灌浆压力，不能过大或过小。压力过大，对坝体稳定会造成不良的影响。采用的最大灌浆压力应以小于灌浆部位以上土体重量为依据，灌浆压力的大小应通过试验来确定。

对于中等深度的裂缝，当库水位较高时，不易全部采用开挖回填处理的部位，可采用上部开挖回填、下部灌浆处理的方法进行。

(3) 土坝的变形观测 土坝的坝体和坝基在荷载作用下会发生变形。这种变形表现在坝身上固定点的变形移动，是可以观测的。而这种位移可分为水平位移和垂直位移。

土坝的变形主要由于孔隙水和空气被排出，使孔隙变小而引起的，变形的过程即为土体的固结过程。由于土压力的作用使土粒不只是垂直下沉，而且有水平方向的移动，因此土坝不只是沉陷，也有水平位移。

土坝在各种力的作用下，会产生各种变形，且有一定的规律和限度。其规律和限度与影响变形的因素有一定关系。若超过或违反这些规律，则会出现异常情况，这也可能就是发生裂缝和滑坡的先兆。为了及时了解土坝的运行情况，保证土坝的运行安全，必须对土坝的变形进行观测。

土坝的变形观测是在土坝坝顶和坝坡上的适当部位安设位移标点，用量测仪器进行的。在有代表性的地段选择若干典型观测断面用视准线法观测，可以得到水平位移。大坝的垂直位移可用水准测量进行。视准线法观测水平位移的观测布置如图 1-8 所示。

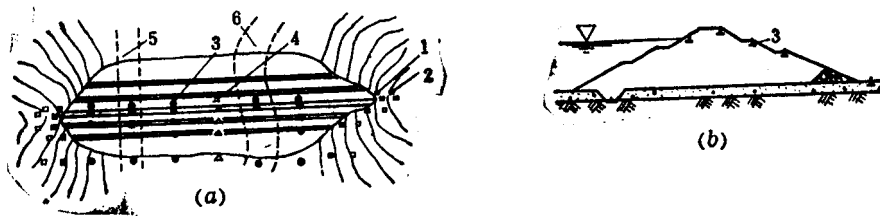


图 1-8 视准线法水平位移观测布置示意图

(a) 平面图；(b) 横断面图

1—工作基点；2—校核基点；3—位移标点；4—增设工作基点；5—合拢段；6—原河床

在进行土坝变形观测的同时，还应注意坝体现象的观测。如有无虫害等隐患，坝体有无滑坡、坍塌、表面冲蚀及坡脚凸起等异常现象。对块石护坡应注意有无翻起、松动、塌陷、垫层流失、架空和风化等现象。坝顶路面及防浪墙是否完好，有无塌陷、裂缝等现

象。认真观测，做好记录以便维修时分析研究。

二、土坝的渗漏观测及其处理

1. 渗漏检查和观测

土坝坝体及坝基都有一定的透水性，水库蓄水后，在水压力的作用下，水流将沿着坝身土料、坝基土体和两岸地基中的孔隙渗向下游，造成坝体渗漏、坝身渗漏和绕坝渗漏，这是正常的现象。但如果设计不周、施工不当、运行管理不善，则可能造成异常的渗漏，轻则损失水量，重则产生渗透变形危及坝身安全。因此，应经常对坝体、坝基进行检查和观测。

土坝的渗透观测项目包括：浸润线，渗透流量（包括绕坝部分），坝基渗透压力及渗透水深的浑浊度。

土坝的浸润线的形状和位置随土坝的结构型式、土料的性质、施工质量、断面尺寸和上下游水位的变化而变化。浸润线的形状和位置对渗流和稳定有很大的影响。为了了解土坝浸润线的位置变化，掌握土坝在运行期间的渗透情况，在坝内典型断面埋设了若干测压管进行检查和观测。测压管布置如图 1-9。

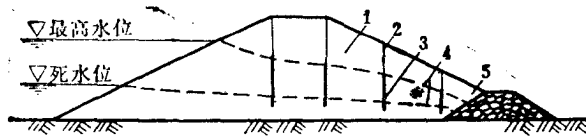


图 1-9 土坝测压管布置示意图

1—土坝；2—测压管；3—进水管段；4—浸润线；5—反滤坝趾

土坝渗流量的观测，一般是在坝体排水设备下游的适当地点将渗流进行集中。渗透流量的大小，可用各种形式的量水堰、量水容器或浮标、流速仪来测量。

在正常情况下，渗流量随水库水位升降而发生变化。库内水位升高时，渗流量增加。水位降低时，渗流量则减少。若突然增加，则应注意是否发生渗透变形。

水库蓄水后，在水头的作用下，当坝基为透水层时，也会发生渗流现象。坝基渗流是否正常，对水库的安全关系很大。为全面了解坝基透水层和相对不透水层中的透流情况，应对坝的防渗和排水设备的作用进行分析。为了估算坝基的实际水力坡降，推测是否发生渗透变形，应对坝基进行渗透压力的观测。坝基渗水压力通常也是采用在坝基处理设测压管进行观测的。坝基渗透压力测试布置如图 1-10 所示。

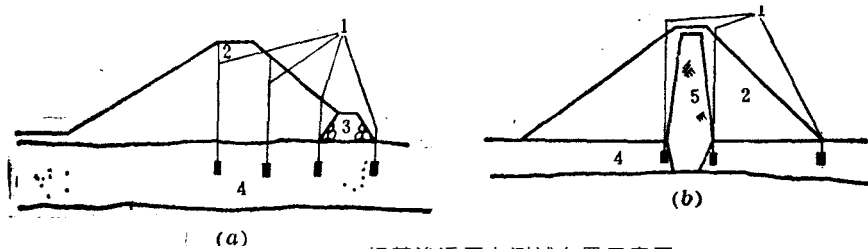


图 1-10 坝基渗透压力测试布置示意图

1—测压管；2—坝体；3—排水设备；4—透水地基；5—心墙

如果坝与岸交接不好，或两岸存在透水地基，将出现绕坝渗流。为了防止不正常的渗透以影响大坝的安全，便于进行分析研究和采取相应的措施，需要在土坝两端岸坡的适当地点埋设测压管来观测浸润线的位置及变化。

渗透水流的浑浊程度可以表明其中细土粒的含量。正常情况下，渗透水流是清澈透明的。当出现浑浊时，则可能是管涌的先兆，必须引起足够的重视。因此，应经常对渗流水进行透明度的鉴定以了解排水设备是否正常；并结合其它渗流观测，分析是否发生渗透破坏。渗透水流的浑浊度是用透明管观测的。

2. 土坝的渗漏处理

产生土坝的渗漏是多方面的，如设计人员对坝基的地质情况了解不够透彻，坝体设计过于单薄，基础处理不力，加之施工时碾压达不到要求等，这些都可能导致土坝的渗漏。白蚁等害虫在坝身打洞营巢，也是造成坝体集中渗漏的原因之一。

土坝渗漏处理的原则是“上截，下排”。“上截”就是在坝轴线以上封堵渗漏入口，截断渗漏途径，防止渗入。如抛土放淤、抽浑水放淤、重做粘土铺盖、粘土斜墙、粘土截水墙、粘土灌浆、砂浆板桩、连锁井柱、混凝土防渗墙。值得一提的是高压定向喷射帷幕板墙，它不仅用于地下截流，还用于地下构筑物的修补，以后将作详细介绍。“下排”就是下游采用导渗和滤水措施，使渗水在不带走土粒的前提下迅速安全排出，以达到稳定。如用导渗、压渗、减压井等办法。

对于基础渗漏，当不能放空水库时，在探明集中渗漏孔口的前提下，可采用在上游水中抛土和抽浑水放淤的办法，堵住渗漏孔口。如能放空水库，可针对地基的具体情况，采用重做粘土铺盖、截水墙、防渗板墙等处理方法。

对于坝体渗漏处理则根据渗漏的具体情况，采用不同的措施，如上游采用粘土斜墙，或在坝体打板桩等措施。在做好“上截”的同时，在下游要采取相应的导渗措施，如设置导渗沟、减压井、岩石排水孔和导渗洞、压渗等设施。

出现问题后，可以采取上面所介绍的办法进行处理。如果在运行管理中按规程办事，有些问题是可以解决的，甚至可以避免发生。所以，在运行管理中，一定要细心检查观测，发现问题及时解决。但有一些工程，由于管理不善，造成水工建筑物的失事，危及到人民的生命财产安全，其教训是极其深刻的。

过去多少年来，地下构筑物修补及截渗多数采用静压灌浆法，解决了一些坝基渗漏问题。但对多数坝基松散地层采用静压灌浆，存在可灌性差，浆液扩散范围小的弊病，不易形成防渗帷幕。

近年来用高压喷射灌浆技术于坝基帷幕防渗。该项技术防渗效果好，施工速度快，且较经济，有着广泛的发展应用前途。

高压喷射灌浆法的基本原理是利用水、气同轴喷射切割地层，经掺搅同时注入水泥浆液置换地层形成充填凝固体。其作用原理如图 1-11 所示。在泵作用下的高速水流射束，从直径 2~3mm 的喷嘴喷出，出口速度达 200m/s 以上。同轴通入的气形成气幕起保护水流射束的作用，使水流的喷射能量在水和地层中不致过早散失。高速水流冲击土体，承受很大的动压力以及沿孔隙作用的水力劈裂力，由于脉动压力和连续喷射，造成土体强度降低等

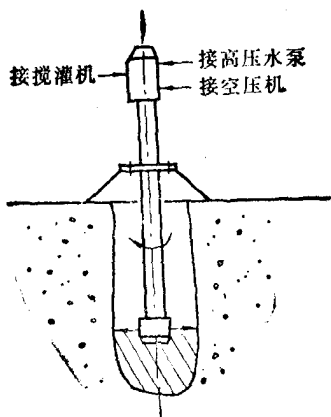


图 1-11 喷射作用原理图

综合作用，致使土体破坏，经高速水、气流的切削、搅动，与同时注入的水泥浆液掺混。随着喷射装置缓慢上升，便可沿喷射范围内形成凝固体。根据实际需要来布置若干孔，使每孔形成的凝固体衔接起来就形成防渗体。

同轴喷射的水、气流在地层中对土体作用的速度和长度，要通过试验确定。喷射压力越高，喷嘴直径越大，喷射时间越长，则穿射土体的速度和长度越大。

喷射灌浆所形成的凝结体，其物理力学性质随所用灌浆材料及地层情况不同而不同，最常用的灌浆材料是灌注水泥浆。如果地层属砂砾成分，则凝结体的强度等指标相当于水泥砂浆；如地层属粘性土，则凝结体的性质相当于水泥土。用于地基防渗时，采用粘土水泥混合浆比较适宜。有关灌浆材料的选用及凝结体性质指标，需通过室内配方及现场取样试验确定。

三、土坝的滑坡处理

当土坝坝坡太陡，土体抗剪强度不能满足要求，坝坡内部土体的滑动力超过阻滑力时，就有可能产生局部滑动。或因坝基的抗剪强度不足，使坝体坝基一同发生滑动。一旦形成滑坡，就有可能造成重大损失。如在高水位时滑坡，库水漫顶就会出现严重的垮坝事故，给人民生命财产带来损失。由于土坝滑坡可能危及大坝的安全，所以在运行管理过程中，要做好经常性的养护工作，注意避免和减轻、消除造成滑坡的外界因素；水库的蓄放水严格按规程办事，一旦发现征兆，立即采取有效措施进行抢护，防止恶化。抢护的基本原则是上部减载，下部加重。一旦形成滑坡，待坍塌终止后，结合具体情况详尽研究，进行永久性处理。补强坝坡，处理原则仍是上部减载，下部压重。通常需经稳定分析后确定加固处理断面。

四、混凝土坝与砌石坝的运行管理及维护

1. 混凝土坝与砌石坝在运行中的检查、观测与维护

混凝土坝与砌石坝的运行，应按有关规程定期维护。闸坝运行中如发现基础渗漏或绕坝渗漏时，应仔细查清渗水的来源，加强检查观测，并进行必要的处理。在地基岩石有断层或岩层节理较发育的地方，应经常观察其外露部分有否变形、错动、张开等现象。并分析建筑物的安全状况。汛前、汛后都应观察泄水建筑物有无裂缝、汽蚀、磨损以及建筑物的边墙、底板有无淘刷，排水设施是否有堵塞等现象。消能设备是否符合设计要求，能否起到消能作用。还应注意扬压力的变化情况，并研究其变化规律。在运行管理过程中应经常注意坝面有无侵蚀破坏，是否出现裂缝。对预留伸缩缝要定期检查、观察，注意防止杂物卡塞、填料流失，对多泥沙河流要定期进行浅水排砂。对上、下游的漂浮物应经常处理，以免阻水、卡堵门槽及冲坏消能设施。对所有观测设备都要做好保护，如有损坏或失效应及时处理。

2. 混凝土坝的表面损坏修补和裂缝处理

(1) 表面损坏修补 混凝土建筑物，由于设计考虑不周，施工质量不好，管理不善或其它原因，往往会引起不同程度的表面损坏。如高速水流冲刷、淘刷、磨损及汽蚀等，引起混凝土表面形成麻面、骨料外露、疏松、冻融、风化剥蚀引起的表面疏松、脱壳，撞击引起的混凝土表面凹凸不平等。这些表面破坏，一般造成表面不平整或使混凝土表面松软，引起局部剥蚀，并不断扩大。由于表层的破坏，还会导致钢筋外露，引起锈蚀，削弱结构强度，使建筑物失稳而发生破坏。

由于引起表面破坏的原因不同，所以采取的处理方法也不同。对水流引起的破坏，应主要改善水流的边界条件；对气候条件引起的破坏，应注意表面的保护；对撞击引起的破坏，则应采用避免撞击的措施。若表面已形成破坏，则应对已损坏的部位进行修补。修补的办法是：将已损的混凝土清除，然后用普通混凝土，采用喷混凝土或压混凝土法回填，当修补面较小时，还可采用环氧回填。

(2) 裂缝处理 混凝土建筑物由于设计不周、施工时不注意养护和温控、运行管理不善，均有可能导致裂缝。当出现裂缝后，应加强检查与观测，并进行分析，查明形成裂缝的原因及不利影响，及时进行修补。

裂缝的修补一般宜在低水头和适宜于修补材料凝结固化的温度，或干燥的条件下进行。修补的措施可以是：表面涂抹：用水泥浆、水泥砂浆、防水快凝砂浆、环氧基液及环氧砂浆等，涂抹于裂缝部位表面；表面贴补：用橡皮、玻璃布、紫铜片和橡胶等材料，贴在裂缝部位的混凝土表面上；③ 凿槽嵌补：沿混凝土裂缝凿一深槽，槽内嵌填环氧砂浆及预缩砂浆等防水材料；喷浆修补：在裂缝部位已经凿毛的混凝土表面，喷射一层密实而强度高的水泥砂浆保护层。以上各种方法应视裂缝的具体情况及对建筑物的影响加以选用。

3. 混凝土坝的渗漏处理

混凝土坝在蓄水应用后，在水压力作用下，坝体有可能沿着裂缝、结构缝、伸缩缝等引起渗漏，坝基及绕坝也有可能出现渗漏现象。坝体的渗漏，将使坝体内部产生较大的渗透压力，影响建筑物的稳定，降低坝的压应力。坝基的渗漏会增大坝下的扬压力，影响坝的稳定，还可能引起渗透变形。在运行管理中，应经常检查观测坝体及坝基的渗透情况，对所观测的资料进行分析研究，为确定处理方案提供依据。

处理混凝土坝渗漏水的基本原则是：“上截，下排”。坝基的渗漏可采用处理土坝的有关方法进行。坝体的渗漏处理则要视造成渗漏的具体情况而采用不同的方法：对于由裂缝引起的渗漏，可按修补裂缝的办法进行处理，这样既补好了裂缝，又阻止了坝体的渗漏；对于用止水结构缝而引起的渗漏，则采取补做止水结构的办法。对混凝土坝段伸缩止水结构可采取如下方法：对沥青并补灌沥青，或对缝进行全灌浆或局部灌浆。不论是坝体渗漏，还是坝基渗漏，都要做好排水工作，在坝体内设置排水管，坝基间设置排水廊道及其它排水设备。

4. 砌石坝的修理

砌石坝是以石料为主的建筑物，尤以浆砌石坝为主。浆砌石坝坝体破坏型式与混凝土

坝大致相同，修理也可采取与混凝土坝相同的办法。但浆砌石坝又有与混凝土坝不同处，具有自己的特点，在选择处理方法时要视具体情况而定。

(1) 裂缝的修理方法 对于缝深 10cm 以内的一般浅缝，可沿缝凿开，冲洗干净，使之露出砌石面，然后在缝内刷一层水灰比为 0.45~0.5 的水泥浆，再以 1:1 的砂浆填塞压实，表面抹光。

对裂缝较宽，且已贯穿砌体的，须将上、下游缝口边的损坏砌块拆除，使之成交错状态，冲洗干净后，再重砌平整。还可以将裂缝用压力水冲洗干净，上、下游缝口用模板封好，将缝内的积水排除，再灌注水泥砂浆或用混凝土回填。

对于漏水严重，而且又会危及建筑物安全的裂缝，在修理时除防渗堵漏外，还要对坝体进行加固。即对坝的上游面水平缝凿槽填补混凝土之后，再加筑混凝土防渗墙及浆砌条石加固。

(2) 渗漏处理方法 当上游混凝土防渗墙或浆砌石防渗体裂缝时，可采用涂抹环氧材料堵漏处理。对于由坝身沉陷引起的防渗面渗漏，可补浇混凝土或钢筋混凝土，利用喷浆盖面或沥青盖面等方法，恢复防渗护面的不透水性。对于迎水面的混凝土，防渗面产生裂缝而引起的渗漏，还可以采用钻孔灌浆的方法处理。

第二节 输水建筑物的运行与维护

中、小型水电站的布置有以下几种典型形式：坝式水电站：水头由坝集中，厂房紧靠坝体布置于坝的下游，水电站的输水建筑物为穿过坝体的压力钢管及进水建筑物；河床式水电站：水电站本身起挡水作用，直接从水库引水；③引水式水电站：水电站的水头全部或相当大的一部分由引水道集中，按照引水道的型式，又分为有压引水式及无压引水式水电站。根据自然条件和水电站型式不同，输水建筑物可以是明渠、隧洞、管道，有时还包括渡槽、涵洞、倒虹吸管、桥梁等交叉建筑物。在有压引水道和无压引水道中，一般还分别有调压室和压力前池等。输水建筑物的运行情况好坏，直接影响到水电站机组的正常运行。因此，对这些建筑物应经常检查观测，同时及时维护，按有关规程操作，保证电站机组的正常运行，发挥经济效益。

一、引水渠道的观测与维护

渠道是最简单的无压水道，水电站渠道用来向机组输水（引水渠），并用以将发电站用过的水流排走（尾水渠）及用来集中落差。对水电站渠道的要求是：有足够的输水能力，渠道要能随时输送水电站所需的流量，并有适应流量变化的能力；水质符合要求，要防止有害的污物及泥沙进入渠道；③运行要安全可靠，渠道在运行期要防止冲刷和淤积。渠道常见的缺陷主要为渗漏、淤积和冲刷。在某些情况下，也会发生漫溢和溃缺等严重事故。因此，在运行中要注意加强观测，一旦出现问题应及时修理，以保证机组的安全运行。

1. 引水渠道的检查与观测

根据水电站输水渠道的要求，应对渠道经常检查观测。在渠道过水期间，应检查各渠

段的流态，是否有阻水、冲刷和渗漏破坏现象，有无较大的漂浮物冲击渠坡以及风浪影响和渠顶超高是否足够。在渠道停水期，应检查有无淤线冲深、渠坡塌滑、防渗层破坏及渠内是否有堆积物或杂草生长等。渠道淤积，可使流速、流量减小，严重的阻水，还会造成渠岸坍方。

水电站对输水渠道的第一要求是应有足够的过水流量，因此，应经常对流量进行观测，对已投入运行的渠道，由于底宽及其它因素都已按设计施工完毕，影响流量大小的主要因素为过水深度。所以，应主要观测引水渠的过水深度。通常是在渠道上设立水位观测点。

在水电站引水渠道的设计中已经考虑了渗漏损失，正常运行期间，其少量渗漏损失是允许的。如发现较大的渗漏情况，要加强检查、观测和及时处理。如发现渗漏的是清水，水量变化又不大，就可能是从岩石裂缝里渗漏出来的，不会影响渠道的安全，只是损失部分流量。如果渗漏是浑水，且不断增大，发生在外坡岸中，就要及时处理，否则将会危及渠道的安全，造成渠岸坍塌等事故。

2. 运行要求

新建成的土渠第一次通水及老渠道修理后重新放水时，应慢慢地升高水位，细心观测水流的流态。由于新建渠岸和建筑物附近的新回填土不够密实，没有达到沉陷限度，若很快满渠过水，会引起严重变形和塌溃现象，甚至会冲开缺口。因此，放水时应由浅到深，并将浅水位维持一段时间，使渠岸缓慢地吸水沉实，检查薄弱环节，发现问题进行修理，然后继续抬高水位，一般在新渠道投入运行前一个星期就应进行这一工作。

满渠水放干也应缓慢，特别是过水流量较大的渠道更应缓慢地进行。因有些土质渠道，当渠水骤然放空时，会使渠道受到破坏。

枯水期以后重新投入运行的渠道，也应按上述要求进行试放水工作。

对正常运行的引水渠道，应按有关的操作规程运行，即：维持渠道的正常流量，满足发电需要；维持渠道的设计流速，防止淤积和冲刷；控制过大的流量，减少溢流，节约用水。

3. 渠道的维护

(1) 渠道的修理 渠道每运行一段时间后，都应停水进行一次全面的检查、维护和加固。修复遭破坏的渠道，清除淤积物。对由于渗透而引起的局部破坏，通常采用在背水坡堤脚增设滤水体和在堤外开挖导渗沟，以达到导渗固脚、增强堤身稳定的目的。近年来，较多地采用在迎水面做防渗处理，这样不仅解决了渗透破坏问题，而且减少了水量的损失，降低了地下水位。

渠道经过地质条件比较差的地带，如堆积层地带、破碎带，以及穿过砂土或砂卵石高地的深挖方渠道，其边坡往往不易稳定，且易受水流淘刷，容易发生较大沉陷和大量的坍方，不仅清理工作量大，而且造成淤塞，影响水电站机组的正常运行，甚至造成危害。由于自然条件所限，改成缓坡有很大困难时，可根据不同的情况，研究不同的处理措施。有的采用换基的办法；有的采用挡土墙的办法；有的改用反拱底板衬砌明渠，如图 1-12(a) 所示；也有的用三铰拱暗渠，如图 1-12(b) 所示。

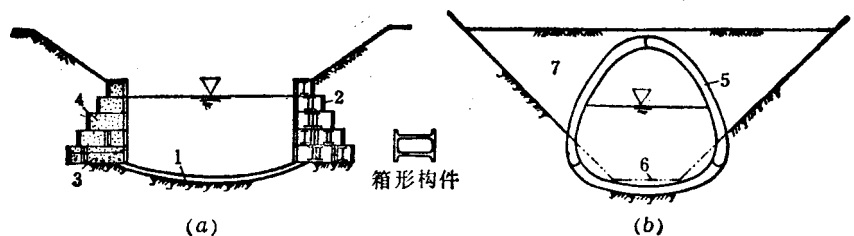


图 1-12 渠坡塌方处理示意图

(a) 反拱底板预制箱形侧墙衬砌明渠；(b) 三铰拱暗渠

1—混凝土反拱底板；2—箱形预制件；3—混凝土；4—砂卵石或贫混凝土块石；5—预制三铰拱块；6—原渠底线；7—回填土

(2) 渠道的防渗 引水渠道一般在岩基或土基上开挖而成，放水后在水压作用下都存在一定的渗漏。在设计时已经考虑了防渗处理，但往往由于考虑因素不全，施工质量不够，或运行管理不善等，会造成异常渗漏，影响水电站机组的运行，危及渠岸的安全，除经常加强观测外，一旦发现问题要及时处理，以免酿成事故。

渠道的防渗措施很多，应根据具体情况选择，其要求应为：防渗效果好；能就地取材；造价低廉；耐久性；能提高渠道的输水能力；施工简易；便于管理养护等，下面介绍几种常见的防渗措施。

1) 渠道表层夯实防渗。对于粘性土渠道，可将渠道翻松分层夯实。

2) 粘土防渗护面。以较好的粘土填入渠道，分层夯实，粘土防渗层厚度为 15~30 cm。用粘土防渗的渠坡，其坡比应不陡于 1:1.5 防渗层顶部应用当地材料封顶 防止雨水流入接合面。为防止粘土防渗层因暴晒而干缩开裂，一般应在粘土层外面加铺一层一般土料或砂砾料作为保护层，厚度 20~30cm。

3) 灰土防渗。灰土为石灰与黄土或粘土混合而成的一种建筑材料。灰土防渗层厚度，在南方风化严重，裂隙发育的岩石渠道上，常用 5~10cm，土渠上为 15~30cm；在北方冰冻地区，厚度为 20~40cm，并视冰冻情况，设置保护层，为防止由于温度变化等引起的裂缝，可每隔 5~8m 设一伸缩缝，缝宽 1~1.5cm，以沥青砂浆或沥青木板止水。

4) 浆砌块石防渗。这是目前用得较为广泛的一种渠道防渗型式。它不仅防渗效果好，而且抗冲耐磨，坚固耐久。防渗层厚度视石料情况而定，一般为 20~30cm。砌筑砂浆可用 30~50 号水泥粘土（或石灰）砂浆，80~100 号水泥砂浆勾缝。图 1-13 表示几种常见浆砌块石防渗示意图。

还可以用干砌石水泥砂浆勾缝，干砌石石灰砂浆抹面等防渗措施。

5) 混凝土护面防渗。这种防渗型式具有防渗效果好、耐久、糙率小、强度高和适应性强等特点。混凝土护面防渗厚度为 5~8cm，根据设计流量大小而定。按其施工方式可分现场浇筑、预制装配和压力喷射三种。为防止温度变化而引起的裂缝及适应地基不均匀沉降，应设置伸缩缝，其间距为 5m 左右，缝内设止水。投入运行的混凝土护面如有损伤、开裂，可用沥青混凝土修补或水泥浆修补。

二、压力前池的观测与维护

压力前池是引水渠道和压力水管之间的连接建筑物，它的作用是：将引水渠中的流量

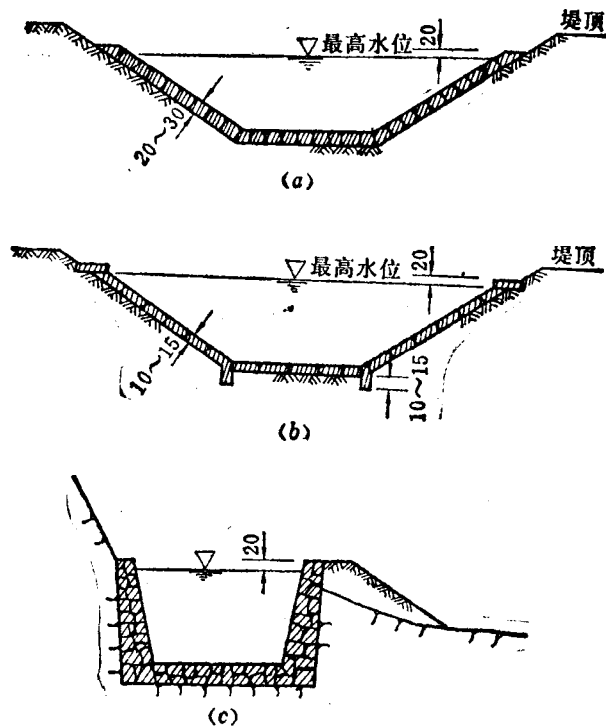


图 1-13 浆砌块石防渗示意图 (单位: **cm**)
 (a) 浆砌块石防渗; (b) 浆砌石板防渗; (c) 浆砌石挡墙防渗

均匀分配给各压力水管, 并加以必要的控制, 再次清除水中的污物、泥沙、浮冰等。当水轮机引用水量迅速改变时, 它可以起一定的调节作用。

1. 前池的观测

(1) 前池的控制水位 机组在运行时, 随负载增减, 流量就发生变化, 前池的水位也跟着升降。为了维持机组的正常运行及前池的安全使用等, 应对前池的几个水位加以控制。

1) 正常水位。水轮机通过设计流量时, 进水室的正常水位就是压力前池的正常水位。对中、小型水电站, 前池的正常水位, 可近似采用通过设计流量时的引水渠道末端的水位。

2) 最高水位。当水轮机突然停机, 前池水位立即上升, 水流从溢流堰溢出, 当溢出最大流量时, 池顶也要有 $0.3\sim 0.5\text{m}$ 的安全超高, 以保证前池的安全。

3) 最低水位。水轮机突然增加负荷时, 进水室水位则要突然降低, 为了保证不使压力水管进口处形成旋涡, 不使空气带入压力水管, 机组能正常运行, 进水室最低水位要高出压力水管进水口处顶部 1m 以上。

(2) 前池的水位、裂缝、位移观测 压力前池的水位上升下降, 反映出机组的运行状态, 以及水轮机用水的供需关系。在正常运行时, 要及时观察前池的水位变化, 并进行控制、调整, 这样才能防止发生断水事故或水多弃水现象。

有些水电站，由于前池存在一些问题，在运行中对裂缝、渗漏观测不及时或没有进行观测，逐步发展到前池位移、倒塌、冲毁厂房和机组设备。因此，在运行期间，运行管理人员，对前池的墙身、基础各部位都要细心观测。如停机水位下降，并发现有旋涡，或干池底有陷坑，都是漏水的象征，应及时处理。

2. 前池的维修

(1) 防渗处理 发现漏水，应加强观测，分析原因。如建筑物本身漏水，则应进行防漏修补；如建筑物与基础等原地面接触不良，则应在前池进水口前加筑截水墙，并加厚池底，密封池水不得外漏；如由于基础松散、破碎、裂缝等所造成，则可采取灌浆处理。在压力水管与前池的接头处，结合不好，容易漏水，在这些部位可以加大砌筑断面或提高建筑材料的强度。

(2) 滑坡处理 前池的滑坡多数由于地基问题造成。如地基为堆积层或破碎带之类，当地形的限制无法避开时，在不影响机组运行的前提下，建议采取放大基础断面，缩小前池高度，达到减小地基承载力的办法来解决。对于较浅层破碎地基可以采用清基的办法。前池建筑于基岩上，当压力前池建好进水后，发生漏水，继而出现沉陷、滑动、倾倒。处理的办法是将墙脚清到基岩，再砌筑，并做好池底的防渗工作。

三、输水隧洞的检查与维护

隧洞是水电站最常用的引水建筑物之一。它可作为引水隧洞和尾水隧洞。作为发电引水隧洞，它的基本要求与作为发电引水的引水渠道一致。发电隧洞可以是有压的或无压的，但常用的是有压隧洞。要避免在隧洞中出现明满流交替状态运行。隧洞在运行中碰到的主要问题是输水洞的断裂漏水以及汽蚀破坏。引水隧洞的破坏一般都有一个从量变到质变的过程。因此，在运行过程中以及运行后都应进行细致的检查养护工作，以便发现问题及时处理。

1. 引水隧洞的检查与观测

引水隧洞在运行前，特别是在水库蓄水过程中，应进行全面的检查，主要检查洞身有无变形、裂缝。在运行期间要经常注意观察和倾听洞内有无异常响动。如听到洞内有“咕咚咚”阵发性响声或轰隆隆的爆炸声，说明洞内有明满流交替情况，或者有的部位产生了汽蚀现象，这时就应停止使用，进行检查及处理。输水洞在每次运行后都需进行检查，放水后应进洞检查洞壁有无裂缝和漏水的孔洞，闸门附近有无汽蚀现象，发现问题应及时处理。

2. 输水洞断裂漏水的处理

引水隧洞与其它输水建筑物相比，其工作安全可靠，养护任务小。然而，由于设计、施工及运行管理方面存在的缺点，也会引起断裂漏水事故发生。周岩的变化和不均匀沉陷，隧洞衬砌质量差，由于水锤作用产生谐波而引起的衬砌裂缝，都可能产生漏水事故。当隧洞的山岩压力大大超过设计计算值，或由于隧洞原有截渗设备失效，致使地下水大幅度上升，原有设计衬砌厚度不够，从而引起断裂。

对于以上的问题，可以采用下述办法进行处理：

1) 用水泥砂浆或环氧砂浆封堵或抹面。对于隧洞衬砌的一般裂缝漏水，可采用这种

方法处理，通常是在裂缝部位凿深 $2 \sim 3 \text{ cm}$ ，并将周围混凝土用钢钎凿毛，然后用钢丝刷和毛刷清除混凝土碎渣，用清水冲洗干净，最后用水泥砂浆或环氧砂浆封堵。

2) 灌浆处理。对于质量较差的隧洞衬砌，可采用灌浆处理。随着施工机具的改进，经验日益成熟，用这种方法处理隧洞缺陷越来越广泛，所用灌浆材料范围不断扩大，效果越来越好。洞内灌浆处理，通常在洞壁按梅花形布设钻孔，灌浆时由疏到密。孔的深度视需要而定，加固洞壁的，以不打穿洞壁为限；加固防渗垫层的，可打穿洞壁至防渗层。灌浆压力一般在 $1 \sim 2 \times 10^6 \text{ Pa}$ 。浆液配比视具体情况而定。

3) 隧洞的喷锚支护。输水隧洞无衬砌段的加固或衬砌损坏的补强，可采用喷射混凝土和锚杆支护的办法，简称为喷锚支护。它是五十年代逐渐发展起来的一项新技术。该法在节省三材，降低造价，减轻劳动强度，缩短工期等方面都具有显著的作用。

3. 引水隧洞的汽蚀处理

当输水洞进口形状不当、洞壁不平整、以及闸门槽尺寸不当时，均易引起局部的汽蚀破坏。轻则洞壁被汽蚀成蜂窝状，重则造成坍塌、危及安全。

防止和减轻汽蚀的措施有：做好体型设计；人工掺气、通气；控制过流边界的平整度；选用抗汽蚀、耐冲耐磨的衬护材料。对于已产生汽蚀的部位，可用环氧砂浆进行修补。剥蚀严重的部位可用钢板衬砌等方法修补。

4. 调压室的运行与维护

为了改善水击现象，常在有压引水隧洞与压力水管衔接处建造调压室。调压室利用扩大的断面和自由断面反射水击波。它将有压引水系统分成两段：上游段为有压引水隧洞，调压室使隧洞基本上避免了水击压力的影响；下游段为压力水管，由于长度缩短，从而降低压力水管中的水击值，改善机组的运行条件。

调压室运行时，应注意以下几个方面：

(1) 水位观测 保持水位波动的相对稳定性。如出现突出的水位升高和降低，或超过正常的波动幅度时，则应分析不稳定的原因，及时进行处理。

(2) 检查有无渗漏现象，保持不透水性 当发现调压室有裂缝、沉陷等引起的渗漏时应及时处理。

(3) 检查拦围网安全防护措施，确保运行安全 调压室上口应装设拦网，以防石块、柴物等杂物落入调压室，威胁机组的正常运行，同时也保护运行人员观测水位时的安全。拦网应牢固、完整。如发现损坏，应及时修补。

5. 压力钢管的观测与维护

(1) 压力钢管的检查与观测 压力钢管是水电站主要组成部分。它承受较大的内水压力，并且在不稳定的水流下工作。如果运行中发生事故，将影响机组的发电，严重的会使整个电站遭受破坏。因此，对压力钢管应作定期检查和观测，并做好记录。如遇 5 度以上地震、暴雨、冰雹、低于历年最低气温，以及紧急停机甩去较大负荷时，都应进行特殊的检查。

观测压力钢管时，应注意管体部分的管身是否开裂、是否漏水、管壁是否变形、管内是否有异常音响等。并应检查伸缩节的行程和漏水，进入孔有无变形、漏水等。

对压力钢管，除按《水工建筑物观测手册》规定要求进行的振动、脉动、负压、汽蚀、外水压力等观测项目之外，还要根据需要定期对支墩、镇墩以及压力钢管有关高程的位移进行观测，以便掌握第一手资料。

(2) 压力钢管的维护 压力钢管的维护可分为以下几个方面：

1) 压力钢管的失稳破坏修理。钢管是一种薄壳结构，在外压和管内产生负压的情况下，容易失去弹性稳定而发生皱曲破坏。发生失稳破坏与钢管的设计、制造和管理有关，除设计、制造应严格按有关规程进行外，在运行管理过程中，要保持通气孔畅通，及时补气，改善运行条件。

露天式压力钢管如出现鼓包时，可用千斤顶顶压复原，再在钢管外加筋环以加强其刚性。对于隧洞式压力钢管，应在鼓包处钻孔放水卸去外载，顶压复原后，在管壁与洞隙间灌水泥砂浆。对严重损坏的部位可更换钢板。

2) 压力钢管的脆性破坏修理。钢管的脆性破坏一般发生在露天式明管上，其主要现象是管壁、焊缝或有关构件突然发生断口，且发展速度极快，断口晶粒呈均匀的平面，且与构件表面垂直。压力钢管脆性破坏的原因是与材料、结构型式及工作温度等有关。

当发现压力钢管有发生脆性破坏迹象或经分析可能发生破坏时，可采取以下措施：在钢管外壁加设钢箍，分担水压力；改变构件外形，过渡段代替外形突变，减小局部应力集中；对一些间断焊缝改为连续焊缝等。

3) 钢管的局部破坏修理。压力钢管的局部破坏现象常见的有裂缝、变形、汽蚀、磨损及撕裂等。裂缝是由于破坏应力大大超过钢材的屈服强度或应力局部集中造成的，处理办法就是补焊。压力钢管发生汽蚀、磨损是因为结构形状不良、表面不平整等而引起的，处理办法就是修整平顺，避免水流流动产生负压，用抗蚀、抗磨性能好的材料修补损坏部分。

钢管发生振动，主要由高速水流引起，当接近钢管的自振频率时，将引起共振。可用调整加筋环间距，增设小支墩，增加地脚锚栓等，来改变钢管的自振频率，以及避免水轮机在振动较大的负载情况下运行等，来减小钢管的振动。

6. 闸门及启闭机的运行与维护

进水口的闸门及启闭设备是用以控制输水建筑物的输水量，它的安全运行与否，直接影响机组的运行。闸门及启闭机的运行应严格按有关运行操作规程进行。

(1) 检查与观测 对于不同的部件要进行不同的检查，分述如下：

1) 闸门。要注意其开度是否在原开度上，观察闸门有无歪扭及门槽有无堵塞，闸门吊点结构是否牢固，止水设备是否完好，漏水量是否在允许范围内。

2) 有钢丝绳装置的闸门。应检查钢丝绳悬吊装置两端接头是否牢固，钢丝绳有无扭转、打结、锈蚀、断丝等，绳芯是否缺油，起重时有无渗油，通过滑轮间有无压边及偏角过大以及松紧是否适度。

3) 闸门的水下部分。应在闸门启闭或水位下降时抓紧进行检查。对淹没深度较大的闸门可作潜水检查等。

4) 金属结构。特别是钢板组合闸门，金属闸门的框架和面板应无变形、汽蚀和磨

损，止水应完好，金属结构表面应无脱漆生锈等。

5) 启闭设备。应观察运转是否正常，有无异响及别劲现象，传动机构和承重机构有无磨损与损坏，齿轮啮合是否符合要求，连接螺丝特别是地脚螺丝有无松动，制动设备是否有效，润滑油是否充足，安全保护设备是否完好等。

(2) 闸门及启闭机的维护 要经常清理附着在闸门上的水生植物、杂草、污物及积水等，避免闸门腐蚀，保持其清洁完好、运行灵活。经常清理门槽、门库和转动盖座上的块石、杂物等。在运行期间应对闸门等金属结构定期进行除锈，一般 $2 \sim 3$ a 整修一次。金属结构焊缝开裂应及时补焊。经常淹没于水下的钢丝绳等应加强防锈，定期更换。另外，闸门应避免停留在容易发生振动的开度上，如果发现不正常的振动响声，应查明原因及时处理。在严寒地区，为防止冰冻，保证闸门安全，在闸门槽及支铰附近可用胶管把压缩空气通入水中，定时送气掀起水浪，防止结冰。

启闭机械应严格按有关规程操作，电动机操作设备、传动装置、制动器及各种仪表等应定期进行维护。

第三节 水电站厂房及其维护

水电站厂房是固定和保护机电设备正常运行的主要建筑物。厂房的任务是通过一系列的工程措施，将水流平稳地引入及引出水轮机，将各种必须的机电设备安置在恰当的位置，给它们创造良好的安装、检修及运行条件，并给运行人员提供良好的生产环境，以利最大限度地提高工效和提高运行质量。因此，厂房必须稳定、牢固、防潮、隔热、保温、防火保安。

水电站厂房都存在采光、通风、防潮等问题。地面厂房应尽可能采用自然光。地下、坝内厂房的全部，半地下或有防洪墙的厂房大部分以及所有厂房的水下部分，只能人工照明，此时应尽量采用与自然光组成相同的光。在中控室及主机房应注意避免日光直接照射到仪表盘面上，灯光照明时不能使仪表盘面上产生反光，以保证运行人员能清晰地观测仪表。

水电站厂房的通风是为了控制厂房内一定温度和湿度，保证机电设备及运行人员的良好工作条件。水电站厂房在设计时，大部分都考虑了机组的发热量与厂房容积的合理布置。但有些厂房往往没有妥善地解决通风问题，或厂房容积不变而扩大了装机容量，致使发电机运行时的热量和太阳辐射到厂房的热量结合在一起，厂内出现高温。这种高温不仅直接影响发电机的出力和安全运行，同时对运行人员的健康也不利。厂房内的温度在冬天不能过低，以保证机电设备的正常运行。

水电站厂房的渗漏和潮湿易使机电设备锈蚀和受潮，并使运行工作人员工作条件恶化，过大的渗漏还会引起厂房的沉陷，影响安全。厂房潮湿的原因来自以下几个方面：水工建筑物的漏水；机组运行中事故排水；③水轮机设备的漏水；设计对洪水水位考虑不周，较大洪水时尾水位抬高使厂房进水等。中、小型水电站一般采用的防潮措施主要有以下几个方面：