
锦屏一级水电站地质断层加固、防渗化学灌浆——《锦屏一级水电站 1670 高程 f_2 断层及层间挤压错动带处理》

1.1、工程概况

锦屏一级水电站位于四川省凉山州盐源县与木里县交界处，是雅砻江干流中下游水电开发规划的“控制性”水库梯级，在雅砻江梯级滚动开发中具有“承上启下”重要作用。本工程规模巨大，开发任务主要是发电，结合汛期蓄水兼有分担长江中下游地区防洪的作用。电站装机容量 3600MW，保证处理 1086MW，多年平均年发电量 166.2 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，年利用小时数 4616h。大坝为世界第一高拱坝，坝高 305m，水库正常蓄水位 1880m，死水位 1800m，正常蓄水位以下库容 77.6 亿 m^3 ，调节库容 49.1 亿 m^3 ，属年调节水库。

枢纽主要建筑物由混凝土双曲拱坝，坝身 4 个表孔+5 个深孔+2 个放空底孔与坝后水垫塘，右岸 1 条有压接无压泄洪洞及右岸中部地下厂房等组成。

混凝土双曲拱坝是世界第一高拱坝，坝高 305m，坝顶高程 1885m，坝顶宽度 16m，坝底厚度 63m，宽高比 0.207，坝体混凝土方量 474 万 m^3 。

泄洪设施由坝身 4 个表孔，5 个深孔，2 个放空底孔，坝后水垫塘以及右岸 1 条有压接无压泄洪洞组成。表孔孔口尺寸 11×12m；深孔孔口尺寸 5×6m；放空底孔尺寸 5×6m；坝后采用复式水垫塘，长 390m，右岸有压接无压的泄洪洞，工作闸的孔口尺寸为 13×10.5m，能够宣泄 5000 年一遇 $15400\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水。

引水发电建筑物布置在右岸山体内，由进水口、压力管道、主厂房、主变室、尾水调压室、尾水隧洞组成，地下厂房主厂房尺寸为 277×25.9×68.8m，安装 6 台单机 60 万 kW 的水轮发电机组。

1.2、工程地质条件

左岸抗力体 1670m 高程 4#固结灌浆洞主要为 $T_{2-3Z}^{2(6)}$ 层中厚～厚层状大理岩，角砾状大理岩，下部为 $T_{2-3Z}^{2(5)}$ 厚层块状大理岩， f_2 断层及层间挤压错动带发育在第 2（6-2）层大理岩底部，随岩层的起伏而呈舒缓波状，沿走向起伏较为剧烈，沿倾向起伏相对平缓。 f_2 断层及层间挤压错动带总体产状 $N20 \sim 30^\circ E/NW \angle 40 \sim$

50°，宽度变化较大，一般 20~50cm，局部变宽可达 100cm、变窄仅 5~10cm，主要由片状岩、强风化绿片岩及少量糜棱岩组成，局部碳化呈黑色，性状软弱，遇水泥化。 f_2 断层与 4#固结灌浆洞相交情况见下图：



1670 层 4#固结灌浆段 f_2 断层及层间挤压错动带平面图

1.3、水泥-化学复合灌浆在本工程的应用

由于 305 米特高拱坝坝基大量地质缺陷的存在，大坝挡水后，导致坝体局部出现高应力区和高应力梯度区，坝体局部存在开裂的风险；两岸坝肩由各种软弱面组成的滑移体的抗滑稳定安全余度不高；左岸上部、右岸下部岩体相对较软造成坝体应力、位移极不对称，经过加固处理后坝体仍然存在一定的扭转变形。针对上述突出问题，有必要对一些常规水泥灌浆解决不了的细微裂缝的防渗、软弱岩带的加固、坝体混凝土裂缝修补以及对工期影响和施工干扰较大的部位等采用化学灌浆处理，以保证工程安全顺利施工和长久运行。

f_2 断层及层间挤压错动带分布范围较广，采用分部位和高程来分别处理。根据锦屏一级水电站左岸 1670m 高程抗力体固结灌浆灌后透水率检查和声波检查不合格孔段，主要集中在孔口 0~6m 段即 f_2 断层及层间挤压错动带处，表明普通水泥灌浆对 f_2 断层及层间挤压错动带力学指标和防渗性能改善效果不明显，根据左岸基础处理工程 2010 年 11 月份生产例会会议精神，设计院研究后确定对近坝区域的 f_2 断层及层间挤压错动带采取水泥-化学复合灌浆防渗补强处理。

1.4、化灌材料的优选

f_2 断层及层间挤压错动带处理选用的化学灌浆材料除在满足设计要求的指标

外，还应具有初始粘度低，可灌注性能好，有较高的渗透性，浆材的配比及可操作时间可调，适应性能优异，浆液在潮湿面附着力强，水下固化性能好及固结体无毒，具环保性等特点。综合比较并经二滩公司招投标后，锦屏一级水电站选用的化学灌浆材料为深圳市帕斯卡系统建材有限公司生产的 PSI-5 系环氧灌浆材料。

1.5、化灌材料的适应性与工艺研究和应用

我公司在未进行 f_2 断层及层间挤压错动带的化灌材料供应前，做了大量相关 f_2 断层及层间挤压错动带的相关工作如： f_2 断层及层间挤压错动带原位取样、岩样理化分析、室内模拟化学灌浆试验、化学灌浆材料各项检测试验、化学灌浆材料配方设计、成果汇报与总结等。为大规模实施 f_2 断层及层间挤压错动带的化学灌浆施工提供了材料、地质、工艺等方面的重要参考。

1.6、 f_2 断层化学灌浆概述

f_2 断层化学灌浆就是将化学浆液采用有压灌注手段挤入到断层及层间挤压错动带结构内部的微细裂隙、粉化、砂化、碳化、泥化物等中，将断层及层间挤压错动带介质中的水挤出，以 PSI-5 系环氧浆液置换掉水所占驻的空间，并将微细裂隙完全填充饱满，借助 PSI-5 系环氧浆材在聚合反应过程中的内聚力挤出泥、砂、粉、碳化等断层及层间挤压错动带中的水气，将断层及层间挤压错动带内的泥、砂、粉、碳化等不同的介质凝聚成具有一定强度的聚合物，从而达到利用断层及层间挤压错动带中的岩、泥、砂、碳化介质，原位就地组成一种“环氧混凝土”来使左岸 1670 高程 f_2 断层及层间挤压错动带的受力稳定性和岩体力学强度得到一定提高而满足设计要求的左岸 1670 高程抗力体的抗滑稳定安全余度。

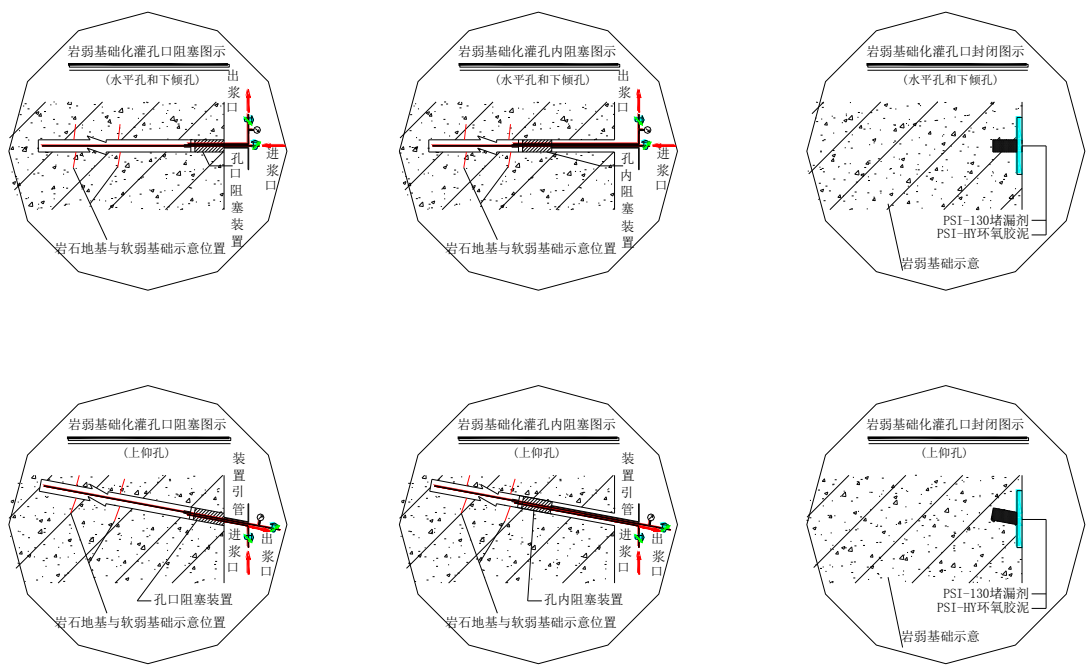
1.7、灌浆方法简述

经过我公司对化学灌浆工艺工法经验的总结，化灌工艺工法采用纯压式和循环式相结合的方法进行最为合理、科学，即将化学浆液灌注到灌浆孔段内，安装的回浆管只是起到排气、排水、排浆水混合物等作用，待回浆管返纯浆后关闭回浆管进行纯压式灌浆，在正常灌注过程中还需定时间隔进行排气、排水、排浆水混合物操作，待保压屏浆时则不再进行此项操作的灌浆方式。

以下为化学灌浆方法的总结与汇总：

序号	灌浆方法	优点简述	缺点简述	适用范围
1	孔口封闭法	能可靠进行高压灌浆，不存在绕塞返浆等事故；对已灌段进行多次复灌，灌浆质量好，施工操作简便，工效较高	每段均为全孔灌浆，近地表岩体抬动危险大；孔内占浆量大，浆液损耗多；扫孔工作量大，易发生铸灌浆管事故	适用高压深孔灌浆；水平层状地基灌浆慎用
2	自上而下灌浆法（孔内卡塞）	灌浆塞置于已灌段底部，节约材料用量；压水与注入量成果准确；灌浆质量比较好	钻孔、灌浆工序不连续，施工工效低；孔内灌浆塞与管路复杂	可适用于破碎岩层和各种岩层
3	自下而上灌浆法	钻孔、灌浆作业连续，工效较高	岩层性状不好时，易发生绕塞返浆；不便于分段裂隙冲洗	适用于较完整的或缓倾角裂隙的地层
4	综合灌浆法	介于自上而下灌浆法和自下而上灌浆法之间		适用各种岩层
5	全孔一次灌浆法	工序少，功效高	适用范围较小	适用浅孔固结等

1.8、相关图纸



1.9、材料品种及功用简述

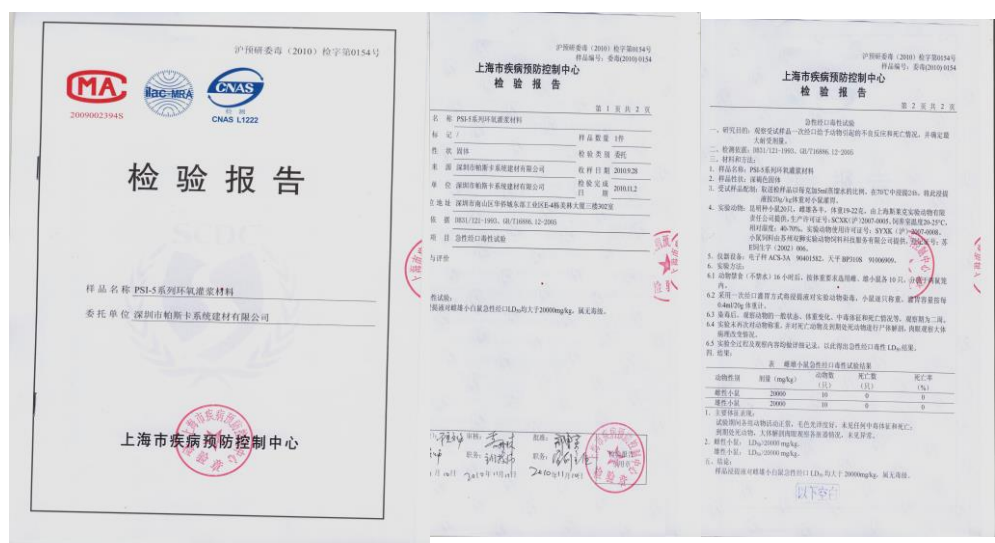
帕斯卡公司在 f_2 断层及层间挤压错动带的化灌施工中，共提供了两类材料，

即第一类为 PSI-5 系环氧灌浆材料，第二类为化学灌浆辅助材料。其中 PSI-5 系环氧灌浆材料又有主灌浆材料、快凝灌浆材料等；化学灌浆辅助材料为 PSI-HY 环氧胶泥、PSI-EPS 环氧砂浆、PSI-130 快速堵漏剂等用于外漏封堵、封缝、缺陷修补的材料。

备注：材料的详细说明及注意事项等详见帕斯卡材料说明书和材料分册等

1.10、主要材料相关检测报告

无毒检测报告



PSI-501 耐老化检测报告



1.11、德曼氏[®] DMIX 化学灌浆设备应用

化学灌浆泵：德曼氏[®] DMIX 灌浆设备



1.12、化学灌浆服务剪影



现场原位取样



室内模拟试验



试验芯样



试验芯样检测



帕斯卡®员工现场服务



现场交流服务



现场粘度检测



技术服务现场试验室



现场浆液憎水性与亲水性试验



PSI®-5 系浆材力学性能检测



PSI®-5 系材料取样封存



德曼氏®
DMIX 化学灌浆设备应用

1.13、芯样与专家组检查剪影



f_2 断层芯样照片



院士现场指导检查



f_2 断层芯样照片



专家现场指导检查



f_2 断层芯样照片



专家组会议研讨



f_2 断层芯样照片



院士与专家现场指导

1.14、锦屏一级电站用户意见反馈

用户使用反馈意见 四川省雅砻江锦屏一级水电站大坝右岸工程化学灌浆施工由中国葛洲坝水利水电工程集团有限公司负责施工，化灌材料供应商-深圳市帕斯卡系统建材有限公司负责供应 PSI-5 系环氧灌浆材料并提供相关技术服务支持。 从现阶段完成的右岸 1601 高程 113 断层的防渗帷幕化灌施工、右岸大坝坝基 118 断层置换槽预留灌浆廊道化灌施工、右岸 22#坝段（风化绿片岩）FL62 化灌施工、关于 15、16、17 坝段坝基趾部基础固结灌浆和 118 断层化灌施工成果来看：深圳市帕斯卡系统建材有限公司生产的 PSI-5 系环氧灌浆材料，浸润性好，渗透力强，对褐黄色或黑色断层泥、角砾岩、煌斑岩脉、片状岩、碎裂岩、118 断层、风化绿泥片岩、风化绿片岩、FL62 断层等穿透、粘结、充填、包裹性好，断层和大坝裂缝化灌处理后工程质量总体满足设计要求。 从正在施工的 118 断层的防渗帷幕化灌施工、113 断层的防渗帷幕化灌施工、114 断层的防渗帷幕化灌施工、大坝接缝压缝化灌施工来看：PSI-5 系环氧灌浆材料具有可操作时间长、浆液初始粘度低、各项力学性能指标优异、浆材应对各种施工工况品种齐全、浆材配比范围广、方便现场施工操作、配浆过程方便可控、浆液刺激性气味低等性能特点，满足廊道内灌浆施工的环境要求且固结体无毒无味。PSI-5 系环氧灌浆材料不仅现场检测全部满足设计要求；第三方抽检中，各项性能指标也全部满足相关要求，且抗压、抗拉等指标高于设计要求。目前已供锦屏一级的 PSI-5 系环氧灌浆材料约 1900 吨，各批次材料性	保证按施工单位经监理和业主组织专业技术人员常驻施工现场、化学灌浆辅助材料、化学浆、人员配置等系统性服务，位，解决了化学灌浆材料使用工的正常进行。 深圳市雅砻江锦屏一级水电站 右岸工程指挥部 二〇一三年六月十七日	用反馈意见 电站大坝左岸工程、左岸基础处理工程水电第七工程局有限公司和中国水利电力水利水电第十四工程局有限公司联合管理和统一管理，特别成立锦屏一级水化灌试验项目经理部负责全面施工。化统建材有限公司负责供应 PSI-5 系环务支持。 118 段 11613 断层化灌施工、左岸 1670 高工、大坝横缝 9-2 廊道化灌施工、大坝来看：深圳市帕斯卡系统建材有限公司，浸润性好，渗透力强，对 II 级大坝层、III 级大坝岩、IV 断层及扬压带、岩、充填、包裹性好，断层和大坝横缝设计要求。 118 帷幕化灌施工、大坝接缝压缝化灌施加固化灌施工、煌斑岩脉防渗帷幕及抗其它软弱破碎岩体加固化灌施工来看：作时间长、浆液初始粘度低、各项力学施工工况品种齐全、浆材配比范围广、方便可控、浆液刺激性气味低等性能特保要求且固结体无毒无味。PSI-5 系环	检测全部满足设计要求；第三方抽检中，各项性能要求，且抗压、抗拉等指标高于设计要求。目 PSI-5 系环氧灌浆材料约 1900 吨，各批次材料性能 服务态度较好，在保证按施工单位经监理和业主准时供货外，还组织专业技术人员常驻施工现场、化学灌浆设备、化学灌浆辅助材料、化学检测设备、技术方案、人员配置等系统性服务、理以及施工单位，解决了化学灌浆材料使用确保了化学灌浆施工的正常进行。 锦屏一级水电站七、十四联营水电七局 化灌项目经理部 二〇一三年六月十七日
---	---	---	---