



华能四川
HUANENG SICHUAN

超细微膨胀水泥在华能小天都水电站 引水系统灌浆施工中的运用

四川华能水电有限公司

杜鹏侠

2008年9月20日

汇报的主要内容

- ◆ 小天都水电站概况
- ◆ 小天都水电站引水系统及其封闭要求
- ◆ 超细微膨胀水泥的特点
- ◆ 超细微膨胀水泥固结灌浆的机理
- ◆ 小天都水电站的超细微膨胀水泥灌浆情况
- ◆ 小天都水电站对使用超细微膨胀灌浆水泥的效果
- ◆ 结论

一、小天都水电站概况(1/2)

- ◆ 电站位于甘孜州康定县境内，为引水式水力发电站。水库具有日调节能力，库容62.09万 m^3 。装机容量80MW \times 3，为一个中型三等工程。最大工作水头393米，多年平均发电量10.39亿kW.h。
- ◆ 工程主要由闸坝枢纽、引水系统和厂区枢纽三大部分组成。
- ◆ 闸坝的闸顶高程2158.5m，闸坝长152m，最大高度为39m。闸坝地处IX度地震区，闸基为101m的深覆盖。经科技查新，为建在软基上的亚洲的最高闸坝。
- ◆ 引水系统沿瓦斯河右岸布置，包括取水口、一条长6030.077m按5.77%的同一坡比布置的引水隧洞、一个全地下埋藏的气垫式调压室和一条长303.108m的压力钢管道。其中，“一坡到底”的高压引水隧洞为国内第一条，气垫式调压室体积、压力均为亚洲第一。
- ◆ 厂区枢纽由主厂房、尾闸室、交通洞、出线洞、排风洞、尾水洞组成，为一个复杂的地下洞室群，并在出线洞口布置有整个瓦斯河流域梯级开发的水电站的中心GIS楼。



一、小天都水电站概况 (2/2)

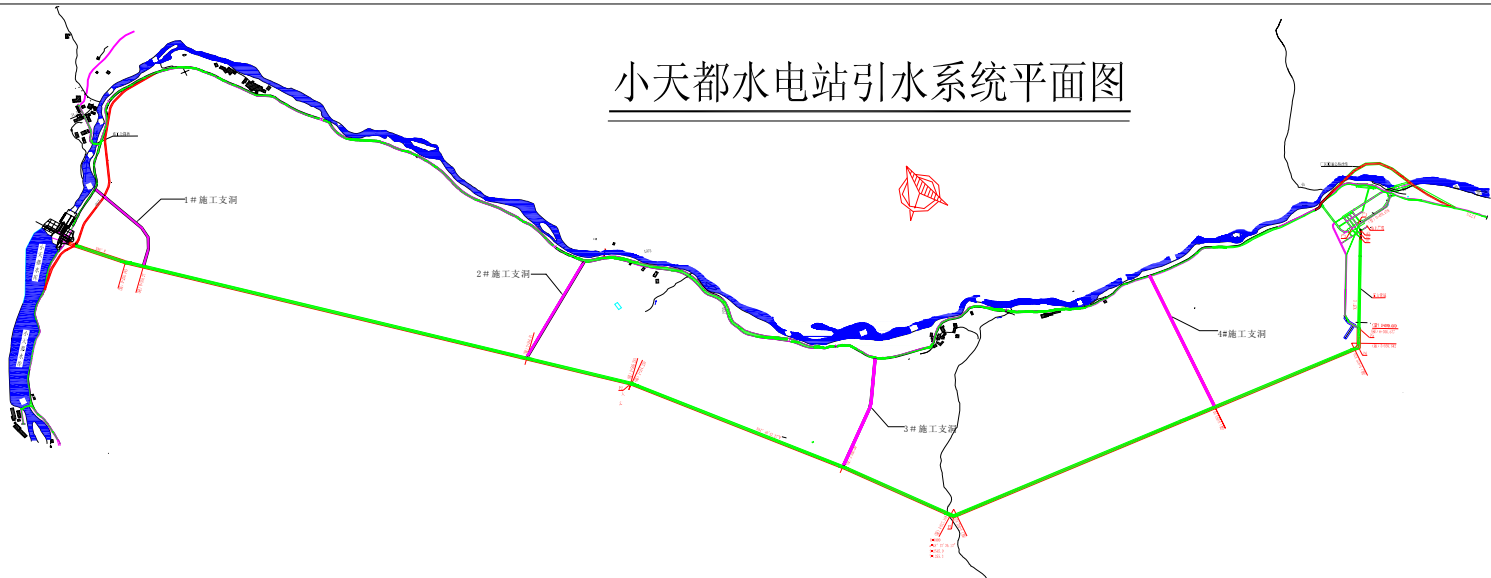
◆ 小天都水电站的三大特点:

- 气垫式调压室
- 一坡到底布置的引水隧洞
- 软基上的高闸坝

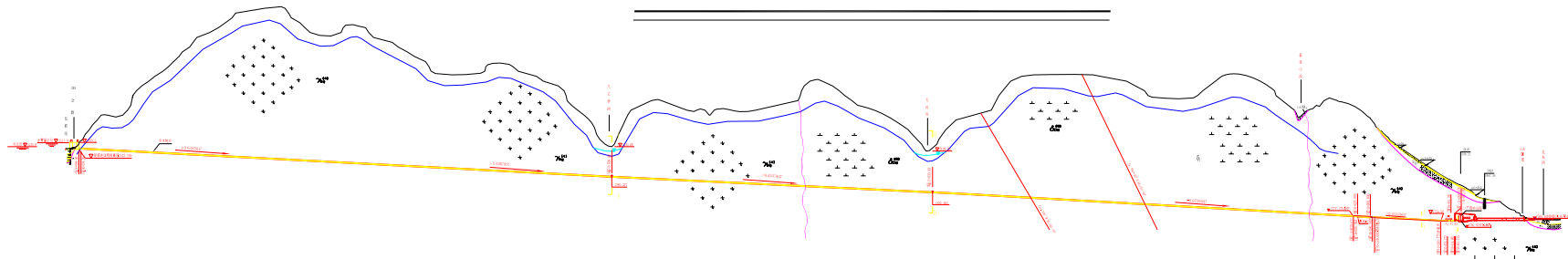
小天都水电站在我国的水电建设中具有里程碑意义的三个特点(优势)



小天都水电站引水系统平面图



小天都水电站引水系统纵剖图



二、小天都水电站引水系统及其封闭要求

- ◆ 气垫式调压室：在引水隧洞靠近厂房附近开挖的一个岩石洞室，在这个洞室内，由岩壁和水面围成一个封闭式的气室，并利用气室内高压空气形成的“气垫”来抑制室内水位变化和水位波动，是一种性能优越的水击和涌波控制建筑物。在国内，气垫式调压室应用还是一项新技术。
- ◆ 引水系统的内的压力：小天都水电站的引水隧洞内，承担了11—393m静水头的压力，在气垫式调压室，最高内水压力和气垫压力均高达4.2Mpa，水幕室内的最高内水压力高达4.8Mpa。而“一坡到底”的不衬砌的高压引水隧洞和气垫式调压室的布置方案成败的关键就是如何封闭引水系统的高压水、气。对不衬砌岩体，要确保对气垫式调压室和引水系统的封闭，对围岩进行灌浆处理是一种非常重要的手段。因此，灌浆的效果就尤为重要。



三、超细微膨胀水泥的特点

➤ 微膨胀水泥的特性

由于MgO水化后生成 $Mg(OH)_2$ 体积变大，因此，含有MgO的水泥拌制的混凝土和水泥结石都具有膨胀性。《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥标准》（GB175—1999）中规定：水泥中MgO的含量不宜超过5.0%，如果水泥经压蒸安定性试验合格，则水泥中氧化镁的含量允许放宽到6.0%。

➤ 微膨胀混凝土的变形特性

- 膨胀量具有长期性，且呈单调增而不会出现收缩。
- 掺MgO的微膨胀水泥拌制的混凝土或水泥结石的线膨胀系数除了与MgO的掺量有关外，还与环境温度、混凝土的骨料特性和龄期等因素有关。

➤ 超细水泥及其特性

- ✦ 普通水泥的细度：通过 $80\mu\text{m}$ 方孔筛的筛余量不大于10%，比表面积大于 $300\text{m}^2/\text{kg}$ 。普通水泥D50的颗粒直径多为 $18-30\mu\text{m}$ ，一般认为， 0.2mm 是普通水泥灌浆的极限宽度。
- ✦ 超细水泥的细度：一般情况下，最大粒径不大于 $40\mu\text{m}$ ，小于 $32\mu\text{m}$ 的颗粒总量大于95%，甚至D50粒径小于 $1\mu\text{m}$ ， D_{max} 不超过 $18\mu\text{m}$ ，80%以上粒径小于 $5\mu\text{m}$ 。

超细水泥作为灌浆材料的特性

超细水泥是一种理想的高性能水泥基灌浆材料，具有以下特点：

- ① 渗透性和可灌性
- ② 比有机化学灌浆液更高的强度及耐久性，无老化现象，并且，对裂隙的湿度不敏感。
- ③ 超细水泥由无毒无害的无机材料组成，相对于其它化学灌浆材料而言，具有很高的安全性，属于绿色环保型建材产品。
- ④ 施工方便，与普通水泥灌浆的施工工艺、施工设备和机具基本相同，有成熟的经验，易于操作。比有机化学灌浆液价格便宜，具有更高的经济性。
- ⑤ 超细水泥灌浆广泛适用于各类建筑物地基加固、结构修补加固、设备基础加固、地下工程的防水堵漏灌浆、固结灌浆、帷幕灌浆等，具有广泛的适应性。

➤ 超细微膨胀水泥的特性

- 超细微膨胀水泥是在工厂生产超细水泥时，掺入适量的MgO，兼具超细水泥和微膨胀水泥的优点，即：早期强度高，具有良好的稳定性、析水率低、流动性好，水泥结石致密、均一，有良好的耐久性，同时，水泥结石还具有一定的均匀微膨胀等特点。
- 水泥的细度越细，比表面积越大，生产成本越高，水泥的活性越强。如果作为灌浆用水泥，细度越细，相同水灰比的水泥浆液的流动性越低，又将会影响了水泥浆液的可灌性。

四、超细微膨胀水泥固结灌浆的灌浆机理

目前灌浆的理论主要有渗透灌浆、压密灌浆和二者综合的理论体系。

- ◆ 渗透灌浆是通过外压力，使浆液克服阻力渗入到孔隙、裂隙中，并在孔隙、裂隙中凝固，从而达到加固和减小渗漏的灌浆方法。浆液在孔内按柱形扩散渗入到孔隙、裂隙并进行填充凝固。
- ◆ 压密灌浆是通过钻孔向被灌体的裂隙中挤压浆液，使被灌体的裂隙尽可能被浆液填充，并通过凝固而使被灌体达到加固和减小渗漏的目的。
- ◆ 不论是渗透灌浆理论、压密灌浆理论，还是两种理论的综合，灌浆的效果与浆液的特性（粒径、初凝时间、粘度等）、灌浆压力、裂隙开度、灌浆时间等参数相关。对同样的被灌体，组成浆液材料的粒径越小，浆液的粘度越小、初凝时间越长，被灌体的裂隙开度越大，灌浆时间越长，其灌浆效果越好。但是，这些参数是相互影响的。通常，当初凝时间确定后，灌浆时间超过浆液的初凝时间，灌浆时间再长也无效。组成浆液材料的粒径越小，其可灌性越好，但其浆液的粘度也会越大，反过来又会降低其可灌性。因此，在进行灌浆方案选择时，应充分综合考虑这些因素，并通过灌浆试验确定。

五、小天都水电站的超细微膨胀水泥灌浆情况

➤ 水泥的选择

由于引水系统密闭要求高，在综合了地质条件、成本、预期灌浆效果和供应商等综合情况的基础上，根据经济性、适应性条件和国标对水泥中MgO的含量要求，选择了四川嘉华生产的MgO含量为 $5 \pm 0.5\%$ 的500型42.5R的超细微膨胀水泥作为灌浆用水泥，并要求水泥结石在自由伸缩的条件下的线膨胀率28天 $\leq 0.6\%$ 。

➤ 灌浆部位的确定

✦ 采用超细微膨胀水泥进行灌浆的部位有：气垫式调压室和水头超过200m的引水隧洞。这些部位埋深较大、地下水压力较大，灌浆难度大，且由于使用时内水（或气垫）压力高，达2.0Mpa-4.8Mpa，密闭要求高的部位。因此，除了对灌浆工艺要求高处，还对灌浆材料有较高的要求。

✦ 在这些部位灌浆的形式主要为无盖重固结灌浆固结灌浆和少量的帷幕灌浆和回填灌浆。

➤ 小天都水电站超细微膨胀水泥固结灌浆的实施情况

✦ 在气垫式调压室内（含气室、水幕室、水幕室交通洞213m、气压室交通洞215m）共用超细微膨胀水泥881T，共计42000余延米。

✦ 在引水隧洞内水头超过200米的部分（长3348m）共用超细微膨胀水泥465t，灌浆量共计18619延米。

➤ 水泥的质量检验情况

在灌浆过程中，对水泥进行了抽检和送检，试验项目包括：水泥细度、凝结时间及强度、膨胀性能、析水率和流动性等指标(试验指标见后)。通过试验，说明所用水泥的性能优越，满足了小天都水电站的高压灌浆的要求。

超细微膨胀水泥细度、凝结时间及强度检测情况表

序号	项目		国家标准	第一次	第二次	平均
1	细度 (m ² /Kg)		>500	512	561	536.5
2	安定性		合格	合格	合格	合格
3	凝结时间 (min)	初凝	>45	150	150	150
		终凝	<600	240	285	263
4	抗压强度 (MPa)	3d	>30	32.2	30.4	31.3
		28d	>52.5	54.4	58.4	56.4
5	抗折强度 (MPa)	3d	>5.5	6.5	6.1	6.3
		28d	>7.5	8.1	9.0	8.6

超细微膨胀水泥膨胀性能测试情况表

龄期 \ 结果	企业标准 (%)	实测值 (%)
1 天	$>0.05\%$	0.08
7 天	$>0.10\%$	未测
28 天	$\leq 0.6\%$	0.38

超细微膨胀水泥析水率和流动性测试情况表

W/C	2:1	1:1	0.8:1	0.6:1
析水率 (%)	58	35	22	15
标准漏斗流动性 (s)	19	21	23	29

六、使用超细微膨胀灌浆水泥的效果评价

➤ 使用效果

- ✦ 通过压水试验检查，水幕室、气室和引水隧洞的高压段的平均透水率分别仅为0.31Lu、0.27 Lu和0.23 Lu，且最大透水率只为0.73 Lu，完全达到了小于1 Lu和3 Lu的设计要求，也远小于普通水泥能达到的最小透水率1-3 Lu的要求。
- ✦ 电站已安全运行近4年，调压室的漏气、渗水量比较稳定，并且，还有明显减少的趋势。引水隧洞漏水量非常小，几乎观测不到有明显的渗水点。
- ✦ 综上所述：小天都水电站引水系统中运用超细水泥灌浆的方案合理，实施效果良好。

➤ 小天都水电站超细微膨胀水泥固结灌浆取得良好效果的原因

在小天都水电站引水系统灌浆取得良好效果的原因除有完善的施工管理、良好的施工工艺外，还依赖于水泥本身的性能：

- ① 水泥的细度、凝结时间及浆液的粘度等决定了对岩体的相对良好的可灌性；
- ② 超细微膨胀水泥的在灌入裂隙后，利用其自身的延迟微膨胀性能来补偿水泥结石的收缩，消除了因水泥浆的收缩而新出现裂隙，甚至于因其延后的微膨胀会使水泥结石将裂隙进一步封闭。

七、结论

尽管小天都水电站的引水系统极其复杂，为国内目前第一条按“一坡到底”布置的高压不衬砌引水隧洞，有一座气垫体积、压力都是目前亚洲最大的气垫式调压室。而这样的布置特点导致了引水系统的内水压力可高达**4.7 MPa**的内水压力和**4.2 MPa**的气垫压力。即便如此，合理地采用了超细微膨胀水泥作为对引水系统进行高压无盖重灌浆材料、**MgO**微膨胀混凝土作为各种支洞的封堵材料，保证了引水系统各临界面的水密性和气密性，确保了小天都水电站采用这样布置的引水系统取得了成功。

同时，说明采用超细微膨胀水泥作为高压灌浆材料，具有良好的适应应，能达到很好的灌浆效果。



谢 谢!

欢迎各位专家提出宝贵意见

2008年9月20日